



COMMISSION DE
L'OcéAN INDIEN



GECKO

Guide de l'Eco-Konception dans l'océan Indien



*Construire écologique dans l'océan Indien :
un guide pour réduire la consommation
énergétique des bâtiments*



Cette publication a été produite par la Commission de l'Océan Indien à travers le Programme UE-COI ENERGIES financé par l'Union européenne. Son contenu relève de la seule responsabilité des auteurs et ne reflète pas nécessairement les opinions de la COI.



Cette publication a été produite avec le soutien financier de l'Union européenne. Son contenu relève de la seule responsabilité des auteurs et ne reflète pas nécessairement les opinions de l'Union européenne.



Ce guide peut être téléchargé sur le site de la Commission de l'océan Indien :

<https://www.commissionoceanindien.org/publications-thematique/>

SOMMAIRE

Sommaire	5
Avant-Propos	7
Introduction	9
Etat des lieux	11
Climatologie	15
1.1. Données climatiques	16
1.2. Caractéristiques principales des climats	17
1.3. Diagrammes solaires des pays de la COI	28
Confort	31
2.1. Notions de confort thermique en climat tropica	32
2.2. Conditions climatiques sur le diagramme de Givoni	33
2.3. Confort et bien-être dans les bâtiments bioclimatiques	36
Conception	37
3.1. Implantation du bâtiment	38
3.2. Environnement du bâtiment	39
3.3. Ventilation naturelle	40
3.4. Protection solaire	44
3.5. Lumière naturelle	48
Matériaux	51
4.1. Murs	52
4.2. Toitures	53
4.3. Menuiseries	55
4.4. Résistance thermique des matériaux	56
Equipement	57
5.1. Brasseurs d'air	58
5.2. Climatisation	59
5.3. Eclairage artificiel	61
5.4. Production d'eau chaude sanitaire solaire	63
5.5. Energie solaire photovoltaïque	64
Exemples	67
Bâtiment ENERPOS à La Réunion	68
Proposition d'améliorations thermiques d'un bâtiment aux Comores	71
Annexes	77
Facteur solaire	77



AVANT-PROPOS

PROGRAMME UE-COI ENERGIES

La Commission de l’océan Indien (COI) a mis en œuvre le programme UE-COI-ENERGIES, financé par le 10ème Fonds Européen pour le Développement (FED), qui vise à accroître l’accès à des services énergétiques modernes, fiables et durables, à un coût acceptable pour les consommateurs de la région COI, contribuant ainsi aux objectifs de développement durable des pays. L’objectif spécifique du programme est de créer les conditions propices au développement, à l’investissement et à la gestion durable des énergies renouvelables et à l’amélioration de l’efficacité énergétique dans la région de la COI. Les bénéficiaires du programme sont les Comores, Madagascar, Maurice et les Seychelles.

La mise en œuvre du programme COI-ENERGIES s’est étalée de 2013 à 2019. Les activités ont été conçues dans le but d’atteindre les résultats nationaux et régionaux suivants :

- Résultat 1 : l’adoption d’une **stratégie régionale de la COI en matière d’énergie durable** axée sur le développement des ressources humaines et le renforcement institutionnel ;
- Résultat 2 : l’élaboration et la mise en œuvre d’une **campagne de promotion des énergies renouvelables et de l’efficacité énergétique** ainsi que d’un plan de sensibilisation ;
- Résultat 3 : l’amélioration de **l’environnement réglementaire et commercial de la production d’électricité** à partir d’énergies renouvelables raccordée au réseau ;
- Résultat 4 : l’amélioration des **capacités de concevoir, élaborer, construire et exploiter des infrastructures décentralisées** des organismes publics et des investisseurs privés ;
- Résultat 5 : l’élaboration de **normes et labels d’efficacité énergétique pour toutes les catégories de bâtiment et pour les appareils et équipements ménagers** ayant un impact majeur sur la consommation d’électricité et la demande de pointe.

« **GECKO** : Guide de l’Eco-Konception dans l’Océan Indien » participe au résultat 5 de ce programme.

Photo en couverture : Bâtiment ENERPOS à Saint-Pierre, La Réunion. Architecte : Thierry Faessel-Boehe.

REMERCIEMENTS

Marahaba

Misaotra

Mersi bokou

Grand mersi

AUTEURS

Aurélie Lenoir, docteure ingénieure spécialisée dans l'efficacité énergétique des bâtiments et le confort thermique en climat tropical, bureau d'études IMAGEEN (La Réunion). Elle a participé aux mises à jour des référentiels de conception thermique PERENE 2009 et Mayénergie 2013. Son expérience professionnelle dans la construction durable en zone tropicale va de l'animation de formations (rénovation thermique, réglementation thermique des DOM...), au développement d'outils de conception et d'évaluation thermique (outils RTAA-DOM, OPTICLIM, outil RGE, OPTIRGE...) et à la participation à des projets de recherche et développement (LETCHI, ORCHIDEE, PACTE TEC-Tec, EU TAF SE4ALL)

Tony Lee Luen Len, économiste du bâtiment, spécialisé dans la construction écologique et les communautés durables. Il y 20 ans, en tant que gérant d'une compagnie d'ingénierie de façade au Cap, Tony a travaillé sur la thématique efficacité énergétique avec les autorités sud-africaines. Il a travaillé sur les réglementations et standards pour la conservation et l'efficacité de l'énergie dans la construction pour le Gouvernement Mauricien. En 2010, Il a été primé pour la réalisation du premier développement résidentiel écologique à Maurice. Il est le fondateur du Green Building Council de Maurice.

INTRODUCTION

POURQUOI ?

REpondre à l'urgence climatique : Construire des bâtiments moins énergivores.

Selon un rapport spécial du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC)* qui affirme la nécessité de limiter le réchauffement climatique à 1,5°C, les conséquences du dérèglement climatique seront considérables. Les risques auxquels l'humanité va devoir faire face sont la montée des eaux, des températures extrêmes par endroit, des pluies torrentielles dans certaines régions et à l'inverse des vagues de sécheresse dans d'autres, une détérioration de tous les écosystèmes qui abritent les activités humaines avec 25% d'espèces vivantes qui disparaîtront d'ici 10 ans. Ces catastrophes climatiques et environnementales vont induire des risques élevés sur notre santé, un danger pour la sécurité alimentaire et les ressources en eau au niveau mondial et finalement sur la survie de l'espèce humaine. **Le secteur du bâtiment est responsable d'environ 20% des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial.** Dans la COI, ce secteur a un grand rôle à jouer pour diminuer les impacts en réduisant la consommation en énergie et par conséquent les émissions de CO₂, dans ces pays qui produisent une électricité très carbonée.

REDUIRE NOTRE EMPREINTE ECOLOGIQUE : FAVORISER L'ECONOMIE CIRCULAIRE ET L'UTILISATION DE RESSOURCES LOCALES

Les ressources biologiques et minérales s'épuisent. Notre empreinte écologique a augmenté alors que la capacité biologique de la terre diminue. En 2019, les ressources biologiques que notre planète peut renouveler en une année ont été épuisées le 29 juillet. A partir de cette date, l'humanité a consommé plus de ressources naturelles et émis plus de gaz à effet de serre que la Terre n'est en capacité d'en produire ou d'en absorber au cours d'une année. Ceci crée un déficit écologique qui en conséquence réduit les ressources qui seront disponibles pour nos descendants.

AUGMENTER LA RESILIENCE : FAIRE FACE A LA VULNERABILITE VIS-A-VIS DES CATASTROPHES CLIMATIQUES.

Avec le réchauffement climatique, la fréquence et l'intensité des phénomènes extrêmes tend à augmenter. Les bâtiments, et donc leurs occupants, sont impactés par ces crises. La résilience désigne la capacité à absorber un événement extrême et à « rebondir ». La conception de bâtiments bioclimatiques permettant d'apporter du confort aux occupants sans l'utilisation de systèmes électriques tels que la climatisation ou l'éclairage artificiel permet de faire face aux risques de vagues de chaleurs importantes en particulier en cas de coupure du réseau électrique.

* <https://www.ipcc.ch/>

GECKO : GUIDE DE L'ECO-KONCEPTION DANS L'OCEAN INDIEN

Ce guide aide à concevoir des bâtiments économes en énergie tout en favorisant le confort des occupants. Il promeut une architecture adaptée au climat des pays de la COI. Il incite à valoriser les ressources locales.



Comme le gecko qui peut changer de couleur pour se cacher de ses prédateurs, ce guide permet de concevoir des bâtiments qui s'adaptent à leur environnement.

Comme le gecko dont la température corporelle varie en fonction des conditions extérieures, ce guide permet de concevoir des bâtiments confortables pour ses occupants.

Comme le gecko dont la queue peut se régénérer, ce guide permet de concevoir des bâtiments résilients face aux risques climatiques.

Comme certaines espèces de gecko endémiques luttent contre d'autres espèces invasives qui viennent perturber leur territoire, ce guide permet de créer de la valeur ajoutée à l'industrie locale et générer des opportunités d'emplois en lien avec le secteur du bâtiment.

POUR QUI ?

Ce guide s'adresse à l'ensemble des acteurs de la construction dans les Etats membres de la COI :

- Institutionnel
- Maître d'ouvrage : public, privé, AMO, programmiste
- Maître d'œuvre : architectes, ingénieurs, concepteurs, bureaux d'études
- Entreprises de construction, artisans
- Usagers, exploitants de bâtiments, responsable entretien et maintenance de bâtiments

COMMENT ?

Le guide peut s'appliquer à tous les types de bâtiments tertiaires et logements, neufs ou existants.

Ce guide n'est ni un label, ni une réglementation mais peut devenir une contrainte donnée par le maître d'ouvrage à l'équipe de maîtrise d'œuvre. Le guide est mis à disposition gratuitement.

Les thématiques traitées sont la conception thermique de l'enveloppe et l'optimisation énergétique des systèmes.

Les thématiques non traitées sont, entre autre, la gestion de l'eau, la gestion des déchets et l'acoustique.

ETAT DES LIEUX

ETAT DES LIEUX DANS LES PAYS DE LA COI

- Toiture non isolée



Maurice : toiture tôle non isolée. la température de la tôle peut atteindre 60°C en journée



Comores : habitation avec une toiture béton de couleur sombre sans isolation ou protection solaire

- Manque de protections solaires des vitrages



Comores : salle de cours avec des vitrages au soleil – rideaux de fortune ajoutés pour se protéger du rayonnement solaire direct.



Maurice : bâtiment de bureaux climatisé sans protection solaire des vitrages

- Utilisation de films solaires qui créent une augmentation de la température radiante dans les locaux ainsi qu'une diminution du niveau d'éclairage naturel



Seychelles



Comores

- Locaux fermés par des rideaux, climatisés et sans interaction avec l'extérieur



Maurice: bureaux sans éclairage naturel. Les stores sont fermés pour se protéger du rayonnement solaire. L'éclairage artificiel et la climatisation sont nécessaires. Les occupants n'ont plus d'interaction avec l'extérieur.



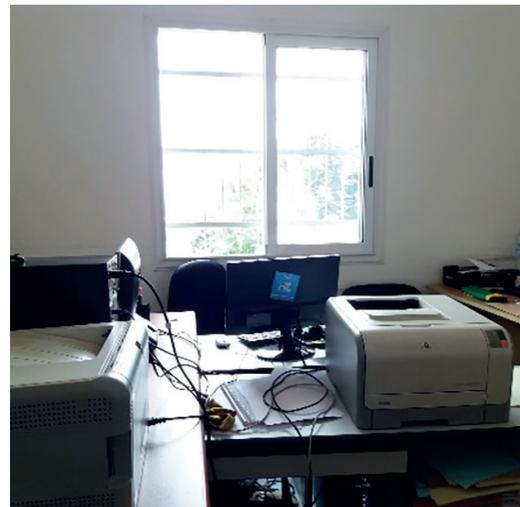
Comores: éclairage artificiel et climatisation tout au long de la journée dans un bureau.

- Eclairage majoritairement de type fluorescent (80%) et incandescent (10%), faible pourcentage de LED installée

- Nombre très important d'imprimantes dans les bâtiments administratifs (parfois 2-3 par bureau) : les consommations en veille représentent environ 5% de la consommation totale du bâtiment



Comores



Madagascar

- Brasseurs d'air de mauvaise qualité, rouillés et empoussiérés qui véhiculent une mauvaise image du brasseur d'air



Maurice



Madagascar

- Climatisation inefficace induisant de fortes consommations électriques dans la plupart des bâtiments tertiaires, les systèmes sont généralement surdimensionnés (de l'ordre de 200 Wf/m² installés)



Maurice



Comores

- Température de consigne des climatiseurs généralement très faible (16-22°C au lieu de 24-26°C)



1

- 1.1. Données climatiques
- 1.2. Caractéristiques principales des climats
- 1.3. Diagrammes solaires des pays de la COI

Ce chapitre présente les outils d'analyse des paramètres climatiques locaux dans le cadre de la conception d'un bâtiment, ainsi que leurs implications en termes de confort hygrothermique.



Climatologie

CLIMATOLOGIE

1.1. DONNEES CLIMATIQUES

Les paramètres climatiques devant faire l'objet d'une attention particulière lors de la conception d'un bâtiment car pouvant influencer sur son bilan thermique sont les suivants :

- La température de l'air extérieur ;
- L'humidité relative ;
- Le rayonnement solaire ;
- La course du soleil ;
- Le vent (force et direction).

Ces paramètres sont influencés par un ensemble de variables comme la topographie ou les activités urbaines, ces paramètres peuvent néanmoins varier à une échelle très réduite, parfois inférieure à quelques centaines de mètres (microclimats).

La température de l'air extérieur peut varier de façon importante (jusqu'à + 8°C) en fonction de la densité urbaine qui crée des îlots de chaleur urbains plus ou moins importants en fonction de la morphologie du territoire et des matériaux utilisés et de leur couleur.

Les diagrammes solaires des Seychelles (- 4°S), des Comores (- 12°S) et de Maurice (- 20°S) sont donnés à la fin de ce chapitre.

Pour Madagascar, il conviendra d'utiliser celui des Comores pour les latitudes allant de - 12°S (Diego Suarez) à - 18°S (Tananarive) et celui de Maurice pour les latitudes allant de - 18°S à - 25°S.

1.2. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES CLIMATS



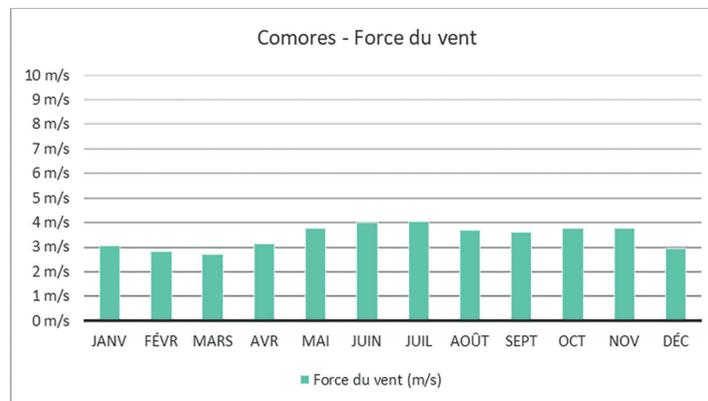
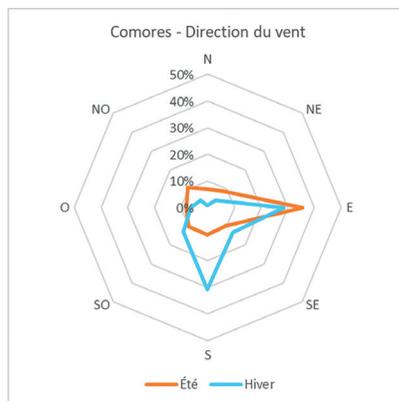
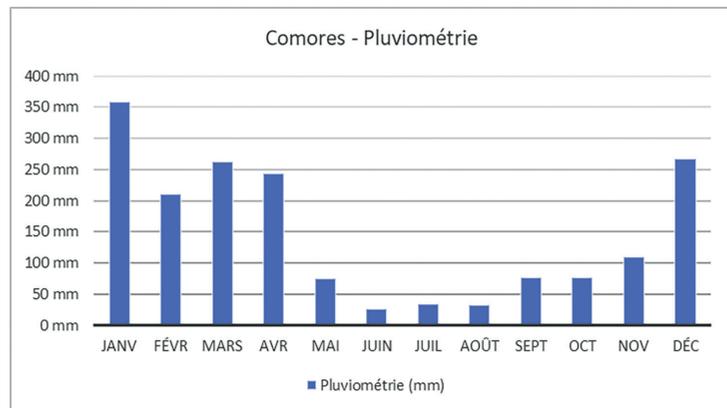
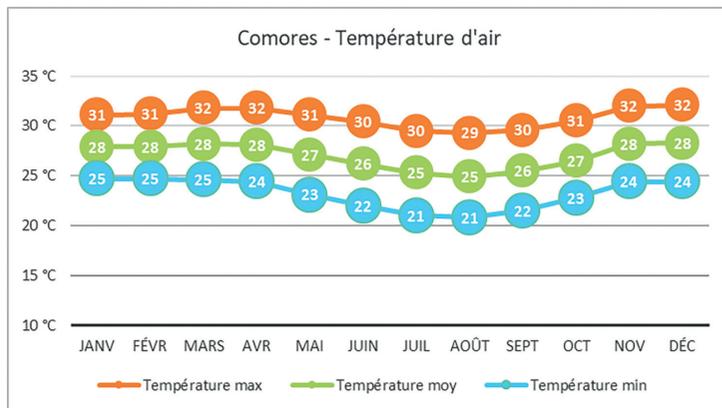
Zone	Station de référence	Coordonnées	Altitude
Comores	Hahaya	11°S 43°E	29 m
Maurice : zone des bas	Plaisance	20°S 57°E	55 m
Maurice : zone des hauts	Vacoas Phoenix	20°S 57°E	425 m
Rodrigues	Plaine Corail	19°S 63°E	58 m
Seychelles	Mahe	4°S 55°E	3 m
Madagascar : zone sud	Toliara (Tuléar)	23°S 43°E	8 m
Madagascar : zone ouest	Mahajanga (Majunga)	15°S 46°E	26 m
Madagascar : zone est	Toamasina (Tamatave)	18°S 49°E	5 m
Madagascar : zone centre	Antananarivo (Tananarive)	19°S 47°E	1 310 m

COMORES

1

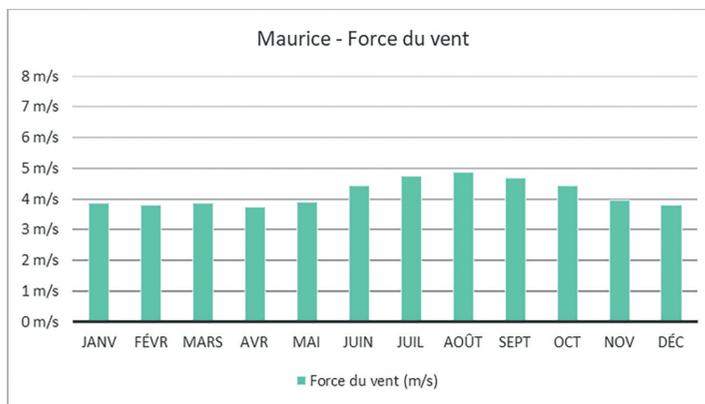
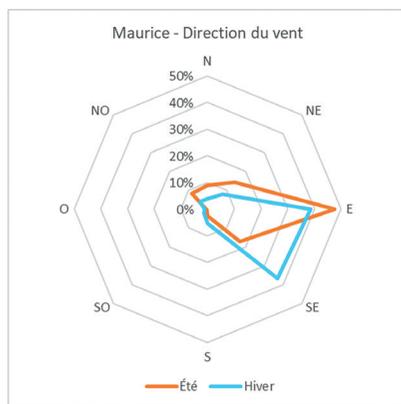
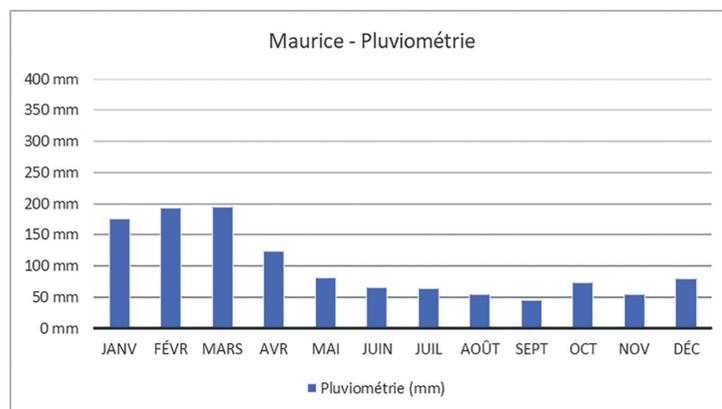
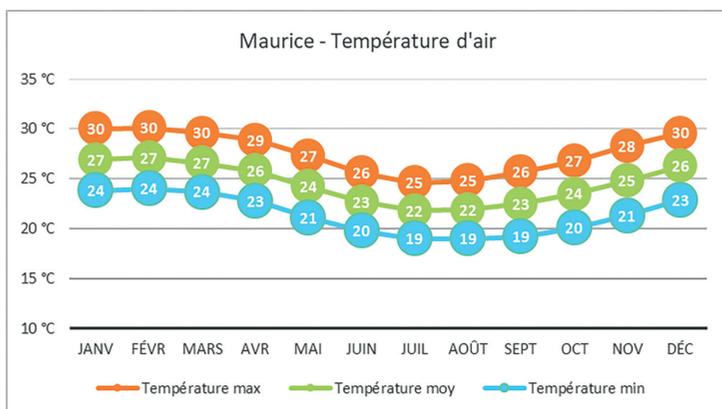
Le climat des îles Comores (11°S) est tropical, avec une saison chaude et pluvieuse de novembre à avril, lorsque la mousson du nord-ouest prévaut, et une saison relativement fraîche et sèche de mai à octobre, dans laquelle les alizés du sud-est prédominent. Les deux vents liés à chacune des deux saisons s'appellent le Kashkasi (vent chaud et humide) et le Kusi.

Le climat se caractérise aussi par d'importantes variations locales de température et de précipitation en fonction de l'altitude, du relief et de l'exposition. Les précipitations annuelles varient ainsi par endroits de 1 000 à 6 000 mm et les minima absolus atteignent 0°C au sommet du Karthala (2 361 m). La température moyenne quotidienne au niveau de la mer passe d'environ 27°C dans la période la plus chaude (de janvier à avril), à environ 23°C dans les mois les plus frais (juillet, août et septembre). Les Comores sont situées dans le chemin des cyclones tropicaux de l'océan Indien du sud, qui se développent de novembre à la mi-mai, mais sont plus probables de fin décembre à mi-avril.



MAURICE : ZONE DES BAS

Le climat de Maurice (20°S) est de type tropical, dominé par les alizés, des vents chauds de sud-est. Les hivers sont humides (période de mai à novembre) et les étés sont chauds et plus sec (période de novembre à mai). Les températures moyennes en été évoluent entre 23°C et 29°C. En hiver, elles varient entre 17°C et 24°C. L'humidité relative moyenne évolue entre 78% et 84% tout au long de l'année. La saison des pluies s'étend de Décembre à Avril avec une pluviométrie évoluant entre 190 mm/mois et 250 mm/mois durant cette période. En hiver, la pluviométrie évolue entre 50 mm/mois et 150 mm/mois.

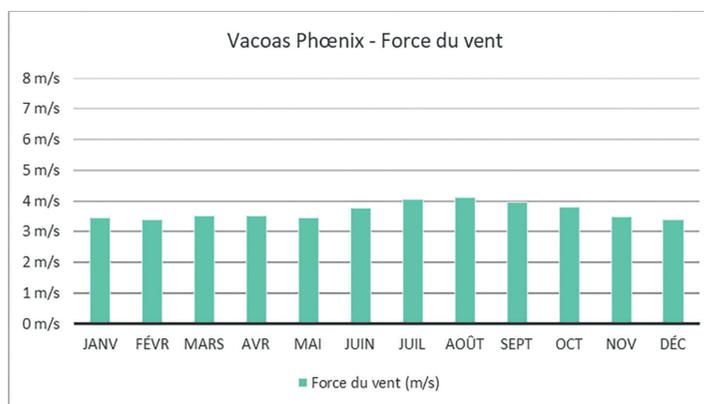
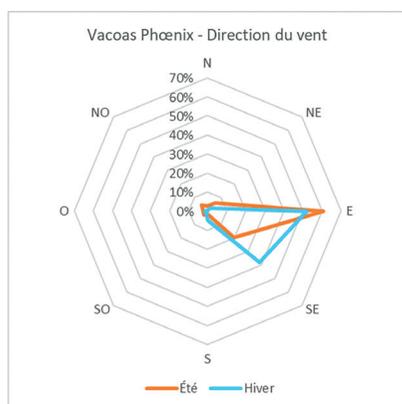
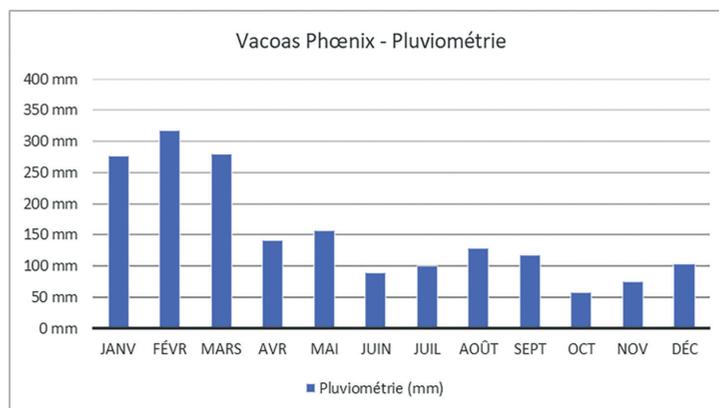
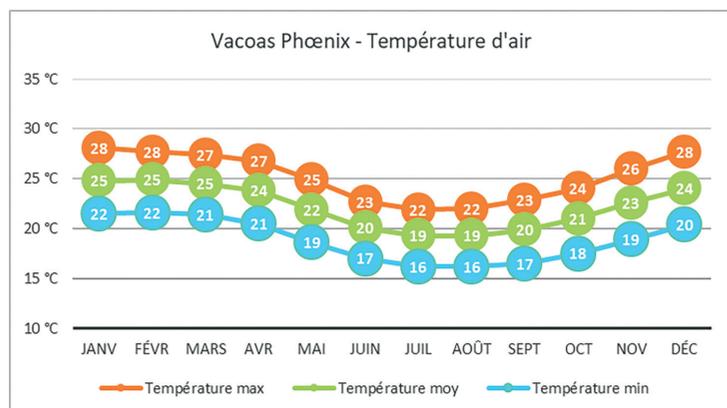


MAURICE : ZONE DES HAUTS

1

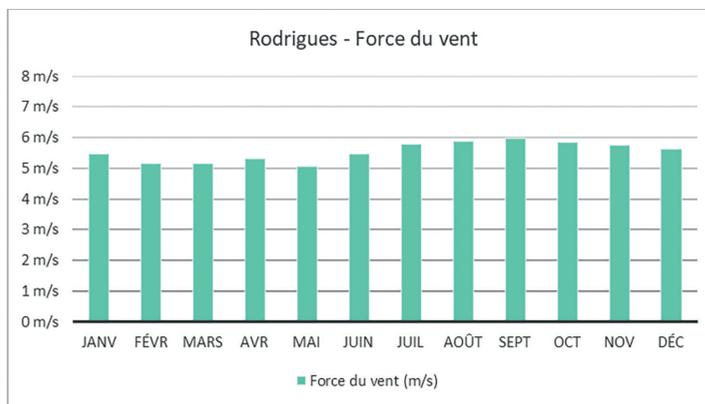
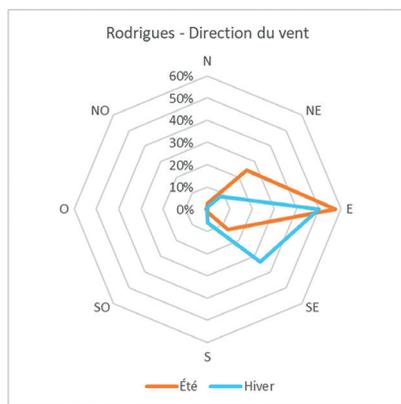
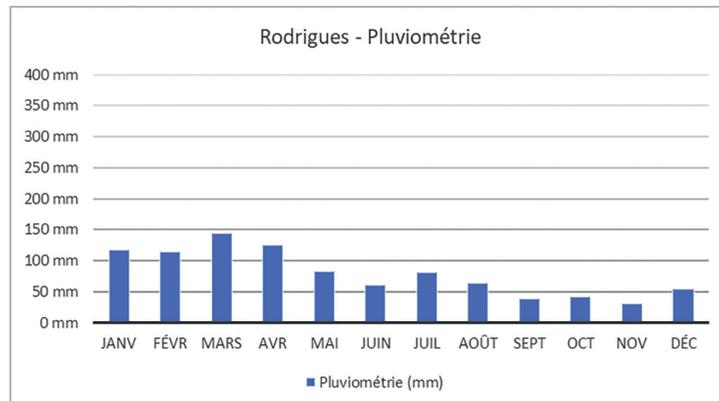
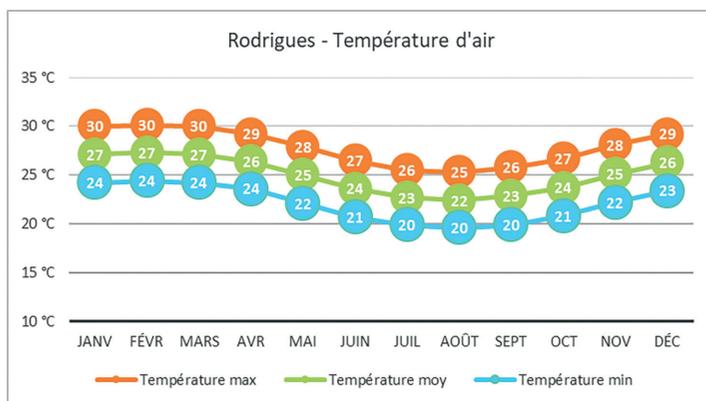
Maurice culmine à 828 m d'altitude. La température est fortement impactée par l'altitude : en moyenne chaque élévation du terrain de 100 m s'accompagne d'une décroissance des températures de 1°C environ. Une deuxième zone climatique est définie pour les altitudes supérieures à 400 m dans laquelle les températures observées sont plus fraîches que sur la côte avec des maximums ne dépassant pas 28°C en moyenne.

On note que la pluviométrie y est plus importante que dans la zone des bas. En revanche, la direction et la force du vent sont similaires à celles de la zone des bas.



RODRIGUES (MAURICE)

Le climat de l'île Rodrigues (19°S) est similaire à celui de Maurice, toutefois on note que la pluviométrie y est légèrement moins importante. Les vents sont également dominés par les alizés venant du sud est qui soufflent surtout pendant l'hiver austral. Les vents sont plus intenses qu'à Maurice avec une moyenne de 5,5 m/s.

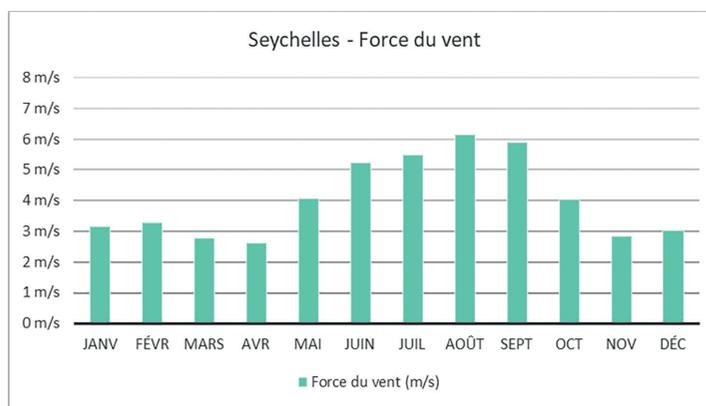
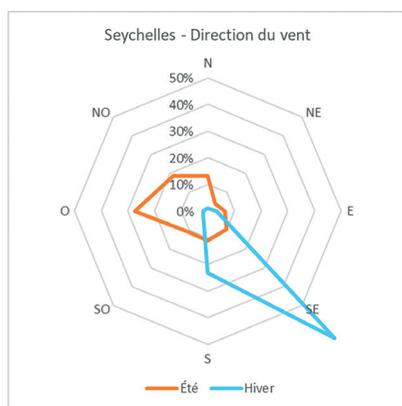
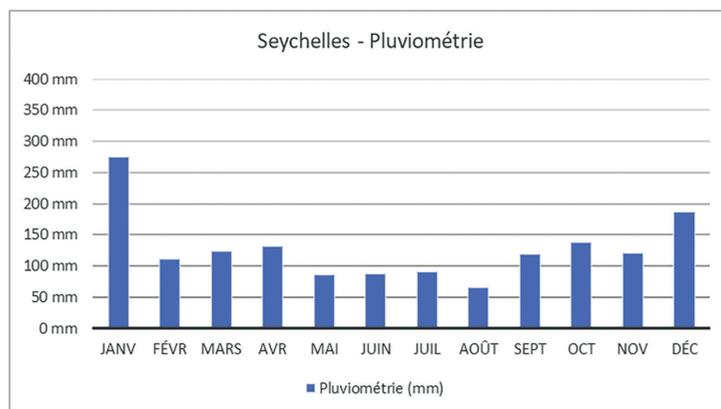
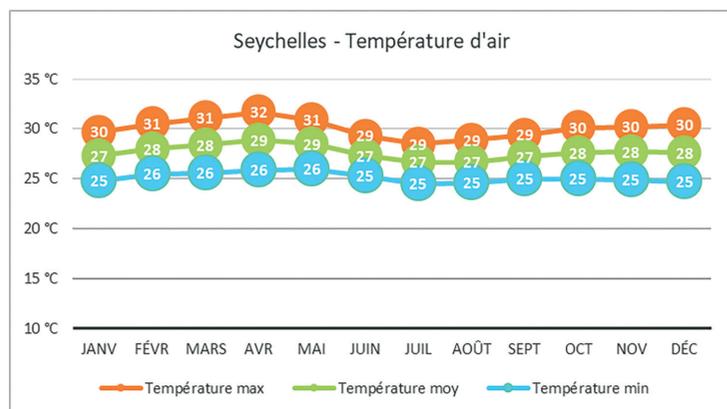


SEYCHELLES

1

Le climat des Seychelles (4°S pour Victoria à 9°S pour Aldabra) est équatorial avec un régime de mousson. On distingue une saison sèche et saison des pluies, même si celles-ci sont peu marquées. La température y varie entre 24 et 32°C toute l'année.

La saison des pluies s'étend d'octobre à avril avec des vents venant du nord-ouest (mousson). De mai à septembre, l'air est plus frais et plus sec avec des vents plus forts (alizés du sud-est). Les îles se situent en dehors de la zone des cyclones : tempêtes et orages violents y sont rares.



MADAGASCAR

1

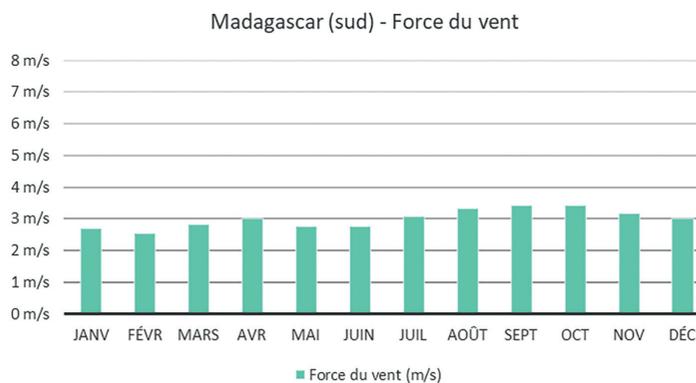
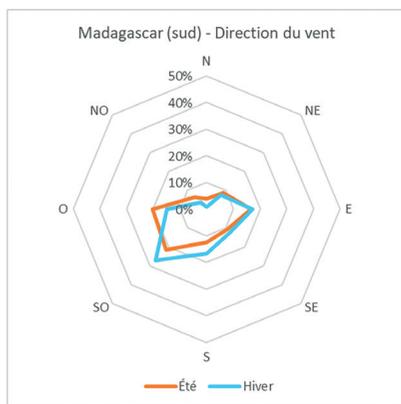
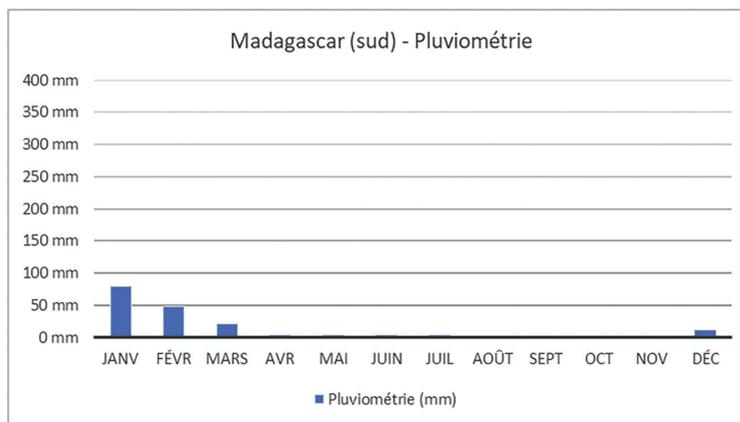
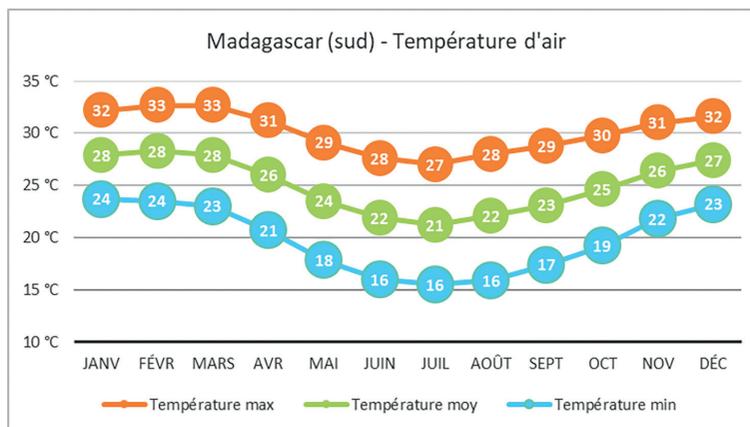
Madagascar peut être découpée en quatre zones climatiques principales :

1. Sur la côte est, du nord-est au sud-est, règne un climat tropical humide et la côte rectiligne est exposée annuellement aux alizés et aux cyclones dévastateurs, entre les mois de janvier et mars ;
2. La grande région de l'ouest de Madagascar est moins pluvieuse que la précédente et se caractérise par des savanes. Les températures y varient de 15°C à 35°C ;
3. Au centre de l'île, les Hautes Terres se trouvent à une altitude qui varie de 1 200 à 1 500 m. Le climat peut être assimilé à un climat de type subtropical à pluies estivales dominantes, avec des températures annuelles moyennes de l'ordre de 20°C ;
4. L'extrême sud de la Grande Île est très sec et les pluies sont rares. L'amplitude thermique est très élevée allant de 0°C à 40°C. Le climat est de type subdésertique.

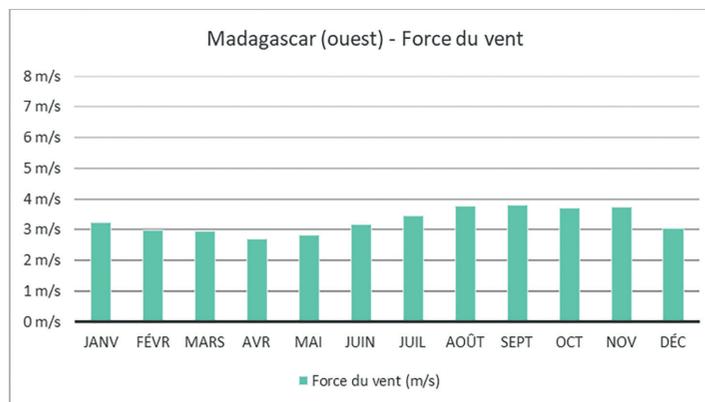
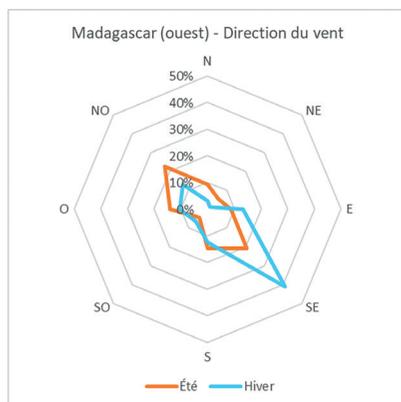
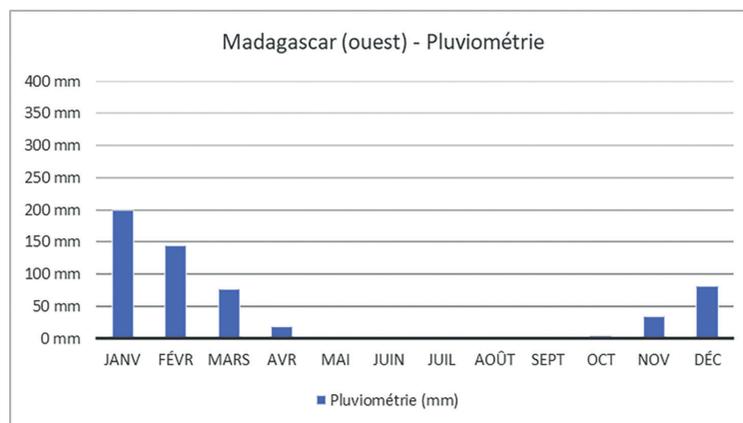
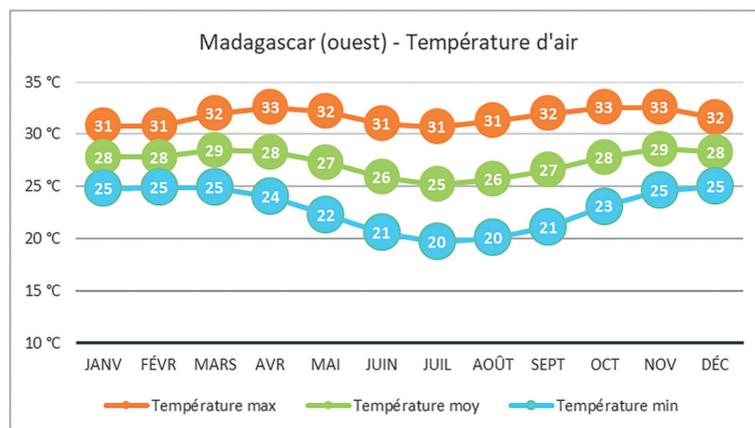
L'île subit l'influence des alizés et de la mousson. Il existe deux saisons : la saison des pluies (saison chaude), de novembre à avril, et la saison sèche (saison fraîche), de mai à octobre.



MADAGASCAR - ZONE SUD

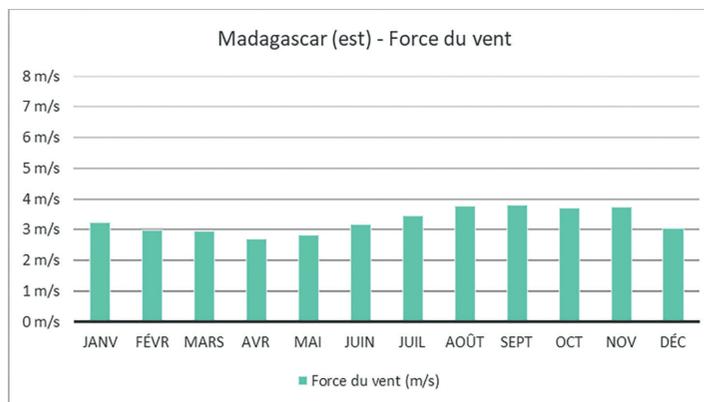
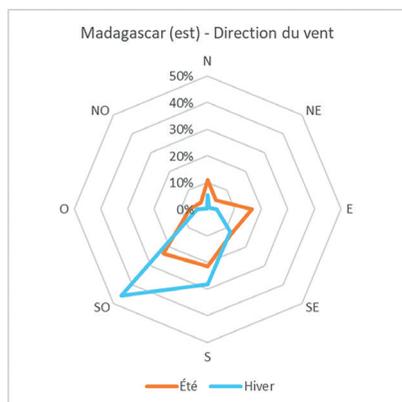
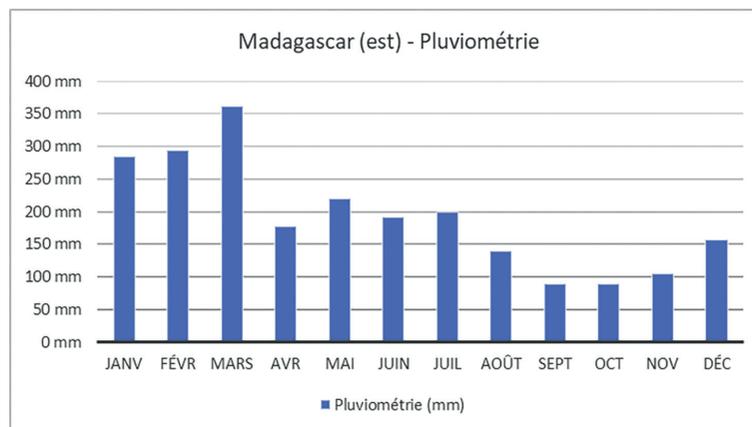
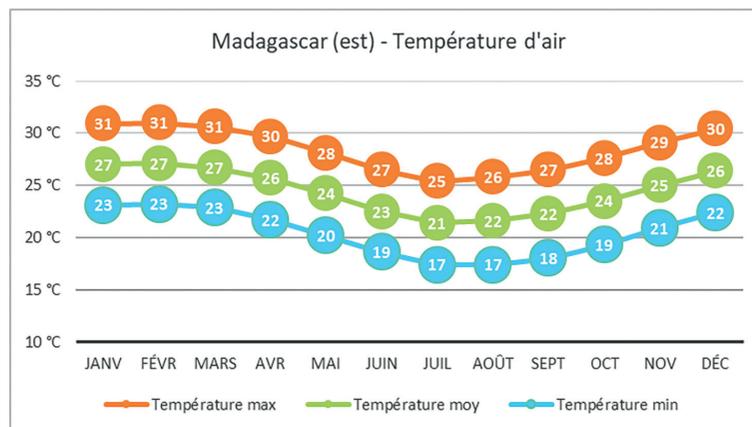


MADAGASCAR - ZONE OUEST

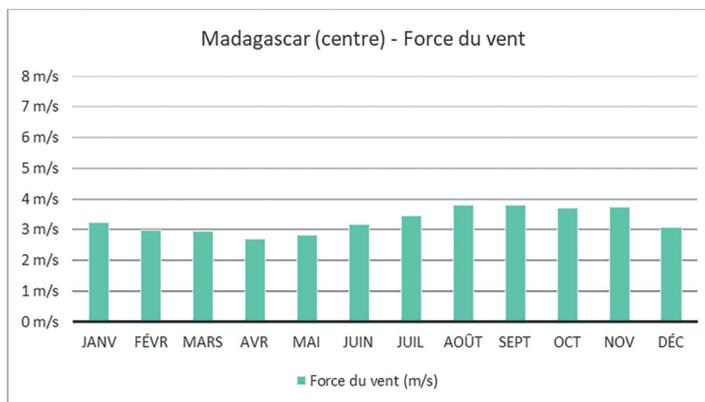
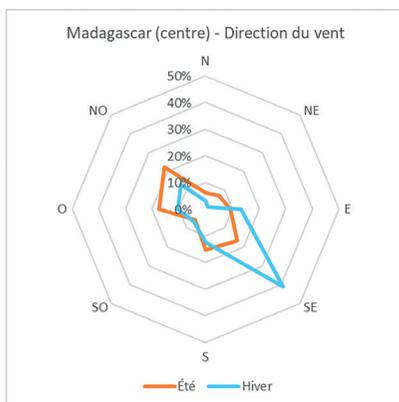
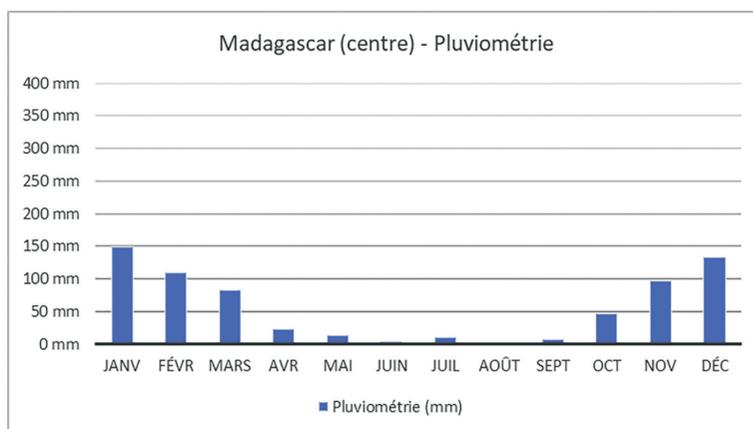
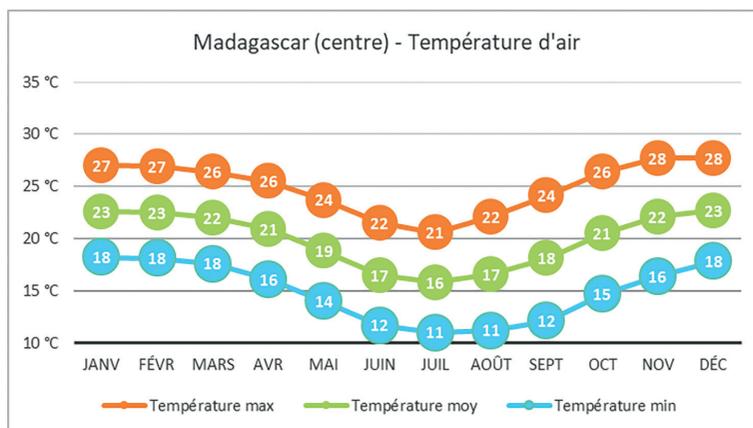


MADAGASCAR - ZONE EST

1



MADAGASCAR - ZONE CENTRE

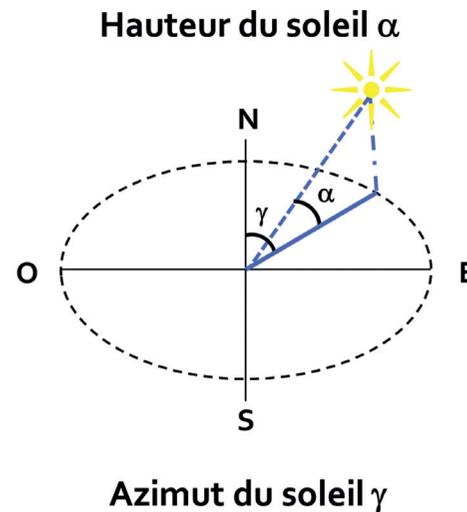
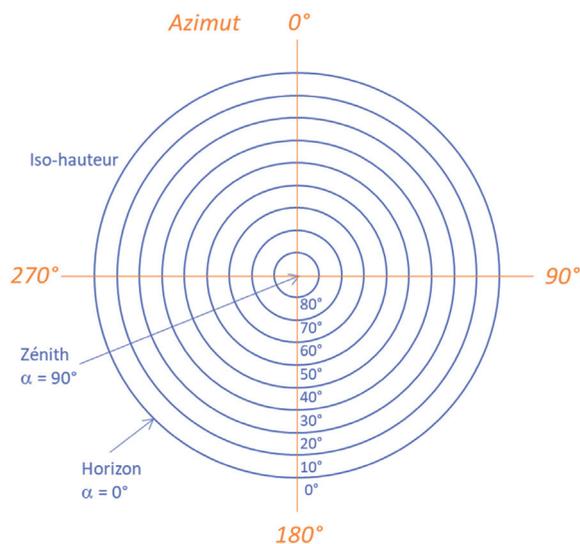


1.3. DIAGRAMMES SOLAIRES DES PAYS DE LA COI

1.3.1. Lecture du diagramme solaire

Les diagrammes solaires sont utilisés pour connaître la trajectoire du soleil tout au long de l'année en fonction d'une latitude spécifique. Dans le cadre de la conception d'un bâtiment, cela permet d'anticiper l'angle d'incidence du soleil avec les différentes parois et son exposition à la lumière naturelle et aux radiations.

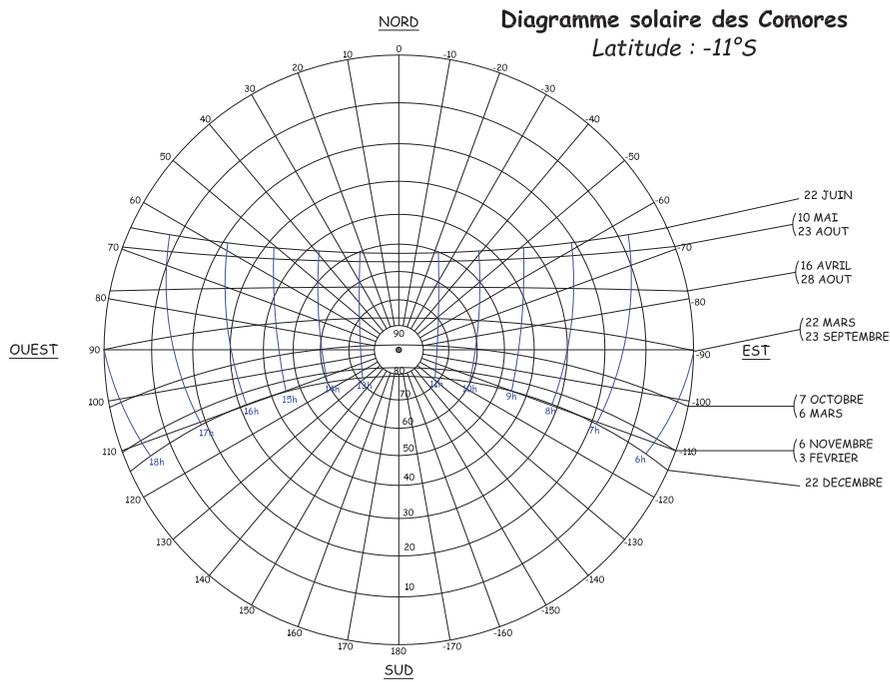
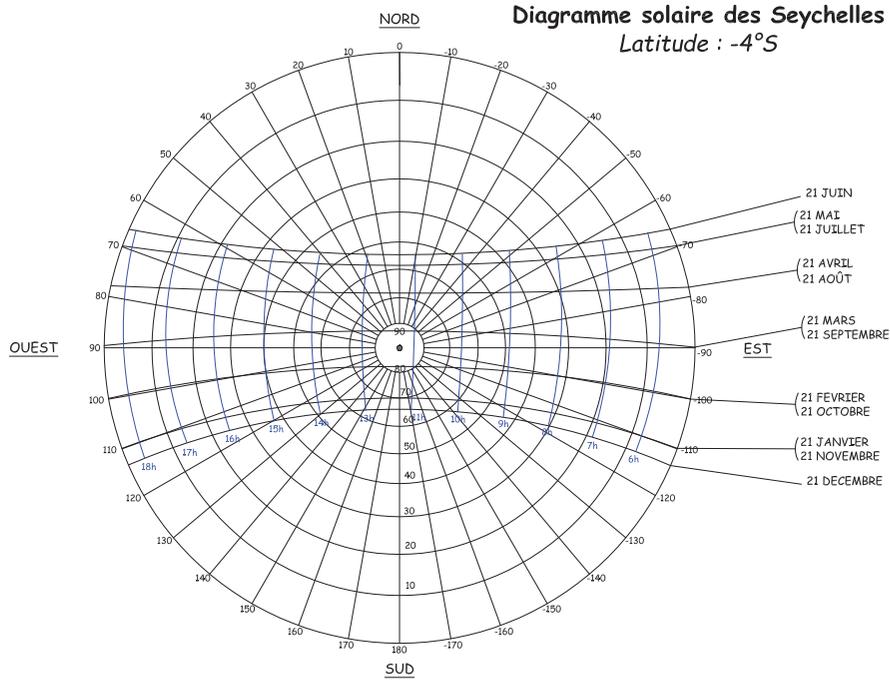
Les cercles concentriques représentent la hauteur du soleil (en degrés par rapport au plan). Sur le cercle périphérique est reporté l'azimut. La trajectoire du soleil est indiquée pour différentes dates et différentes heures de la journée.

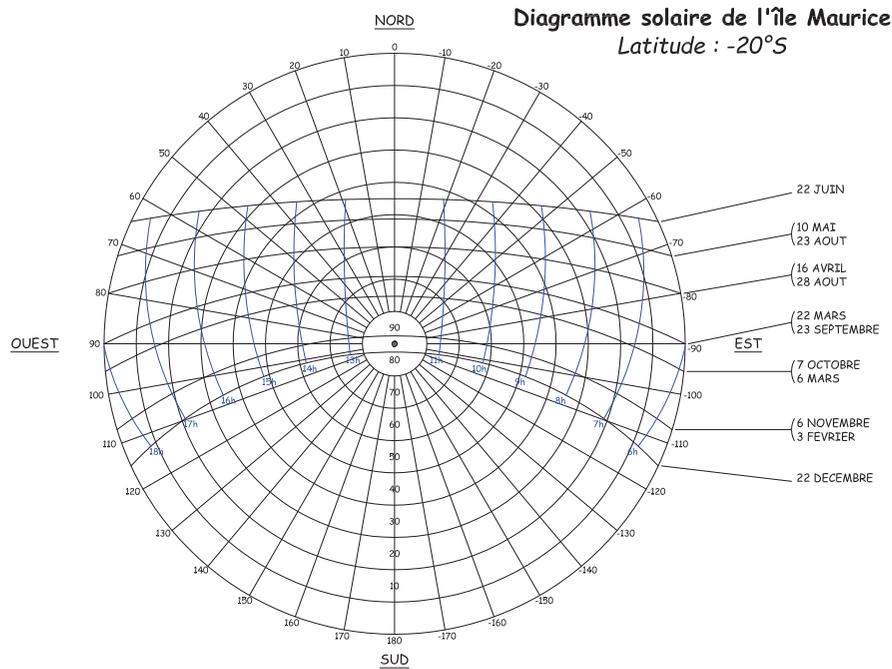


1.3.2. Diagrammes solaires des Seychelles, des Comores et de Maurice

Les diagrammes solaires des Seychelles (- 4 °S), des Comores (- 12 °S) et de Maurice (- 20 °S) sont donnés ci-dessous.

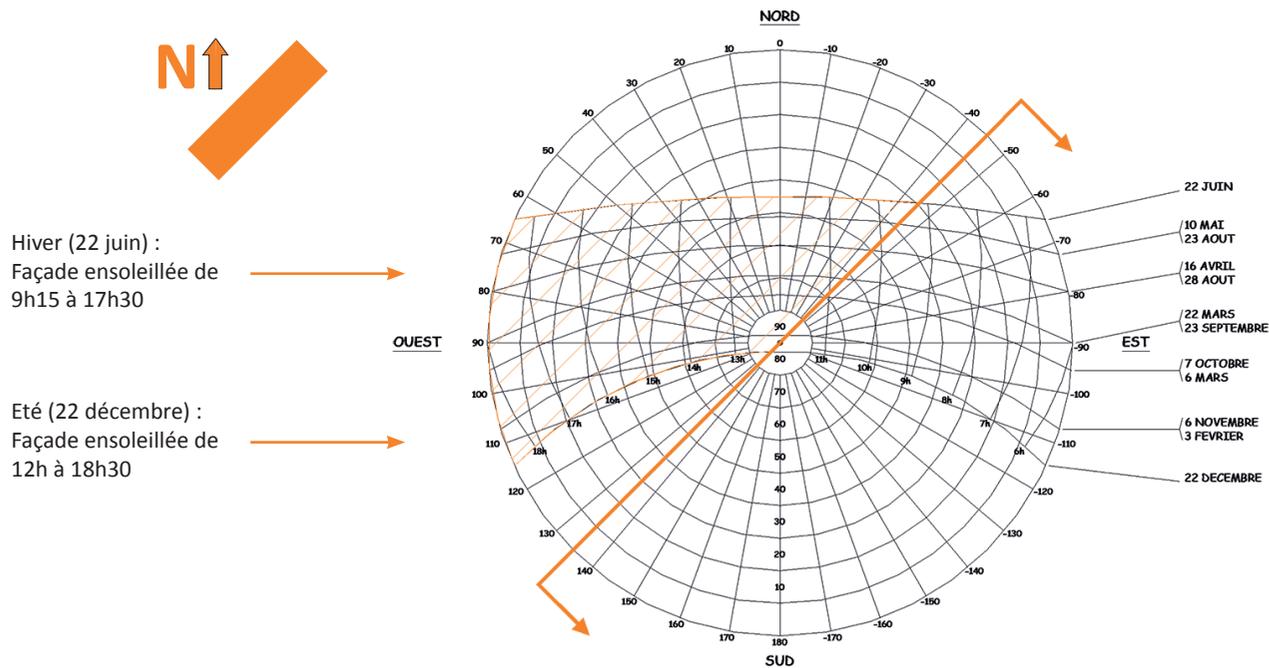
Pour Madagascar, il conviendra d'utiliser celui des Comores pour les latitudes allant de - 12°S (Diego Suarez) à - 18°S (Tananarive) et celui de Maurice pour les latitudes allant de - 18°S à - 25°S.





1.3.3. Exemple d'utilisation du diagramme solaire

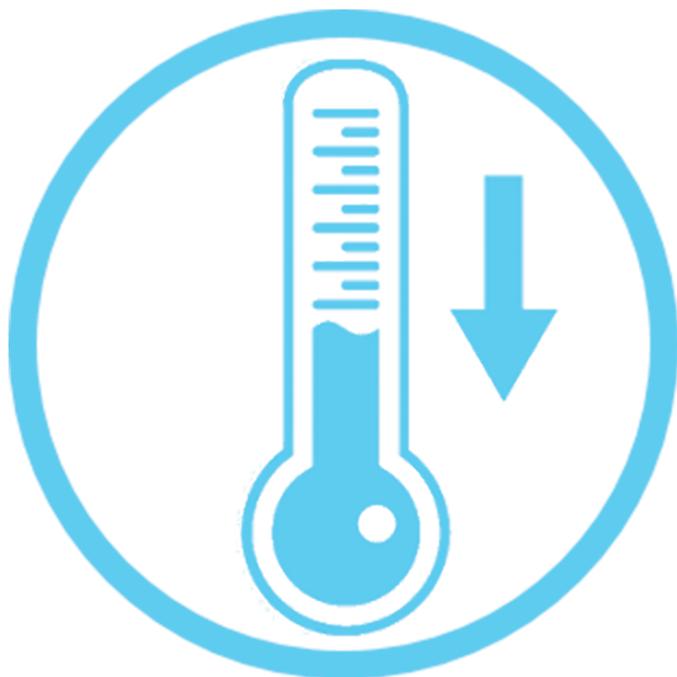
Pour un bâtiment situé à l'île Maurice, on souhaite connaître l'ensoleillement sur la façade nord-ouest.



2

- 2.1. Notions de confort thermique en climat tropical
- 2.2. Conditions climatiques sur le diagramme de Givoni
- 2.3. Confort et bien-être dans les bâtiments bioclimatiques

Chaque personne est unique et il n'y a pas de vérité absolue sur le confort car il est propre à chacun d'entre nous. Dans le cas de la conception de bâtiments passifs, l'objectif est de limiter l'inconfort à l'intérieur en adaptant au mieux le bâtiment à son climat afin de réduire le besoin d'équipements consommateurs d'énergie (ex : climatisation, éclairage artificiel) qui seraient autrement nécessaire pour assurer le confort. Ce chapitre présente les principes du confort en climat tropical ainsi qu'une représentation de zones de confort en fonction des paramètres physiques de l'ambiance thermique.



Confort

CONFORT

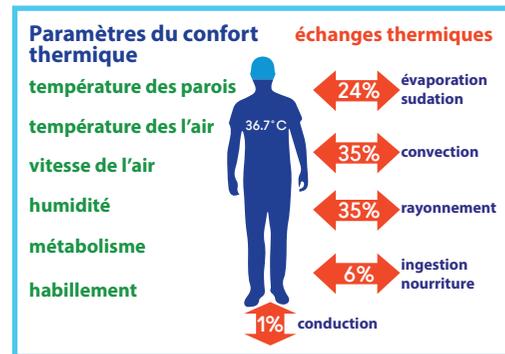
2.1. NOTIONS DE CONFORT THERMIQUE EN CLIMAT TROPICAL



DEFINITION

Le confort thermique est défini comme « un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique ».

L'Homme est une machine thermique qui échange en permanence avec son environnement dans le but de maintenir sa température corporelle autour de 36,7°C. La diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance s'effectue selon tous les mécanismes d'échanges thermiques : en priorité par convection avec l'air ambiant (plus de 50% des pertes) mais également par rayonnement avec les parois environnantes (35%) des échanges. Ce mécanisme est primordial dans la conception bioclimatique en climat tropical car il permet d'abaisser la température ressentie par les usagers si le bâtiment est bien protégé du soleil et que ces parois ont accumulé un peu de fraîcheur nocturne.



Source : De Herde, André ; Liébard, Alain.
Traité d'architecture et d'urbanisme
bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager
avec le développement durable. (2005)
(ISBN: 2281192903)



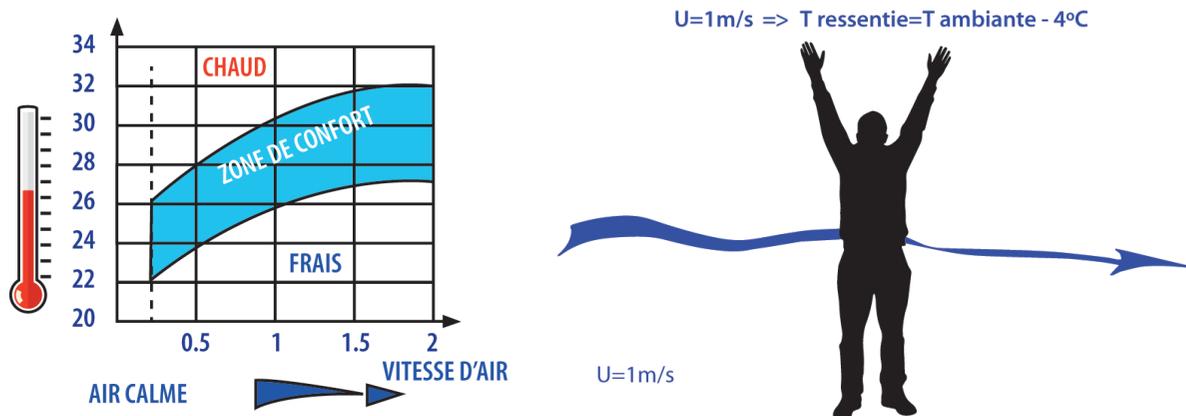
A RETENIR !

La **température des parois** a autant d'influence que la température de l'air sur le confort thermique. Il est donc primordial de **protéger les parois du rayonnement solaire** pour limiter l'inconfort des occupants !

Un autre mécanisme du confort thermique capital à prendre en compte dans une conception bioclimatique est **l'influence de la vitesse d'air** sur le confort. L'augmentation de la vitesse d'air sur la peau des occupants va permettre d'augmenter les échanges de chaleur par convection ainsi que l'évaporation à la surface de la peau. Dans un environnement chaud et humide que l'on expérimente en climat tropical, le corps ne perd que peu de chaleur par rayonnement, conduction et convection car la température est élevée. La transpiration ne permet pas non plus de beaucoup rafraîchir le corps car l'humidité de l'air est déjà élevée. Les courants d'air offrent une source de déperdition de chaleur supplémentaire qui permet d'augmenter la plage de températures confortables.

Pour simplifier, on considère qu'avec une vitesse d'air de l'ordre d'1 m/s (fournie par une ventilation naturelle efficace ou un brasseur d'air) permet de diminuer de 4°C la température ressentie par les occupants. On observe alors que les températures maximales acceptables peuvent atteindre 30°C lorsque la vitesse d'air est de 1 m/s voire 32°C lorsque la vitesse d'air dépasse 1,5 m/s. Toutefois, dans les bureaux, la vitesse d'air maximum est généralement fixée à 1 m/s pour éviter que les feuilles ne s'envolent.

2



Source: La Ventilation Naturelle en Pratique.
Guide ADEME Réunion.



A RETENIR !

La **vitesse de l'air augmente l'évaporation à la surface de la peau.**

Elle influence le confort dès qu'elle est supérieure à 0,2 m/s.

Une vitesse d'air d'1 m/s **permet une diminution de 4°C** sur la température ressentie.

2.2. CONDITIONS CLIMATIQUES SUR LE DIAGRAMME DE GIVONI

2.2.1. Présentation du diagramme de Givoni

Le diagramme bioclimatique de Givoni est un outil d'analyse permettant de mieux définir les stratégies à adopter dans la conception du bâtiment en fonction du climat local et du confort hygrothermique de ses occupants.

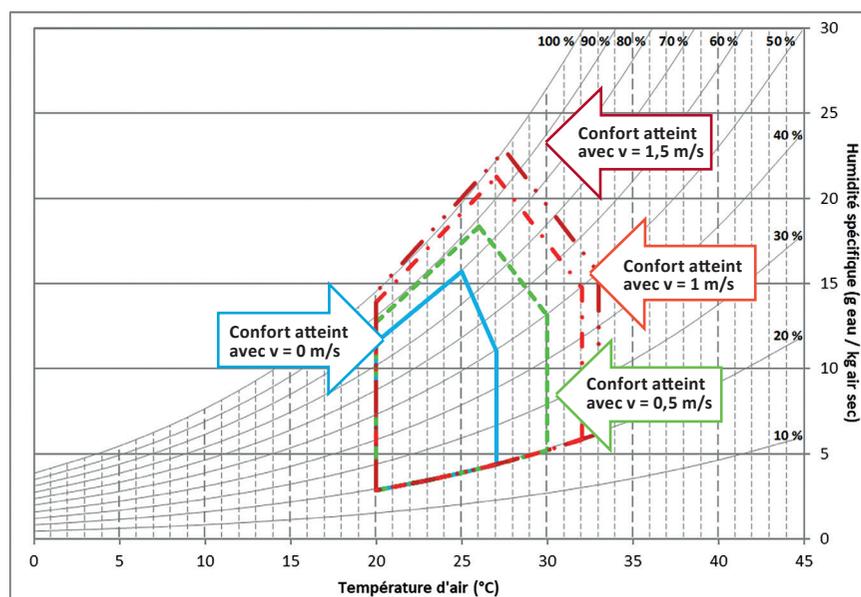
Il permet de visualiser le taux de confort d'une ambiance donnée en plaçant les couples température / humidité sur le diagramme de l'air humide. Il indique en particulier l'extension de la zone de confort hygrothermique grâce à l'évapotranspiration par l'augmentation de la vitesse de l'air de 0,5 à 1,5 m/s. Au-delà d'une vitesse d'1,5 m/s, le phénomène d'évapotranspiration tend vers une asymptote et la température ressentie ne diminue plus avec l'augmentation de la vitesse de l'air. Par ailleurs, les vitesses d'air supérieures à 1,5 m/s en intérieur représentent un risque de nuisances pour les occupants. Les zones de confort définies ci-dessous sont établies pour une activité de type sédentaire (bureau) et avec un habillement adapté à l'été (pantalon léger, manches courtes).

Le diagramme de confort permet de repérer les conditions hygrothermiques extérieures qui ne nécessitent pas le recours à des systèmes actifs de climatisation. Dans ce cas, une conception thermique adaptée ainsi que la possibilité de recourir à une vitesse d'air (par ventilation naturelle ou usage d'un brasseur d'air) doivent permettre aux occupants d'être en situation de confort thermique.

Sur les diagrammes suivants, quatre zones de confort sont définies en fonction de la vitesse requise pour atteindre le confort :

- La zone en bleu représente les conditions de température et d'humidité confortables pour un air calme sans mouvement (jusqu'à 0,2 m/s) ;
- La zone verte correspond aux conditions de température et d'humidité confortables avec une vitesse d'air de 0,5 m/s (équivalent à un léger courant d'air ou un brasseur d'air à faible vitesse) ;
- La zone rouge correspond aux conditions confortables avec une vitesse d'air de 1 m/s (équivalente à un brasseur d'air en vitesse intermédiaire) ;
- La zone rouge foncée correspond aux conditions confortables avec une vitesse d'air de 1,5 m/s (équivalent à un brasseur d'air en vitesse maximale).

La vitesse d'air de 0,5 m/s peut être atteinte avec des dispositifs de ventilation naturelle. Les vitesses supérieures ne peuvent être atteintes que grâce à des dispositifs mécaniques (brasseurs d'air).



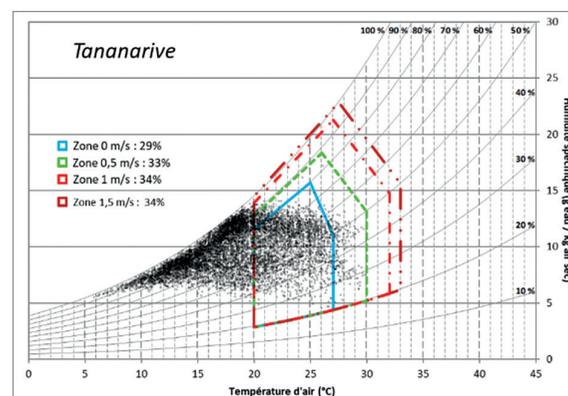
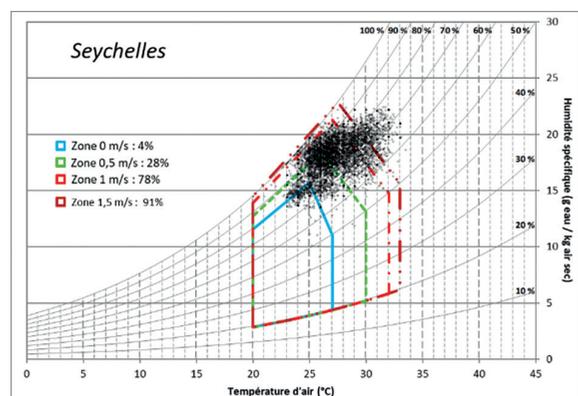
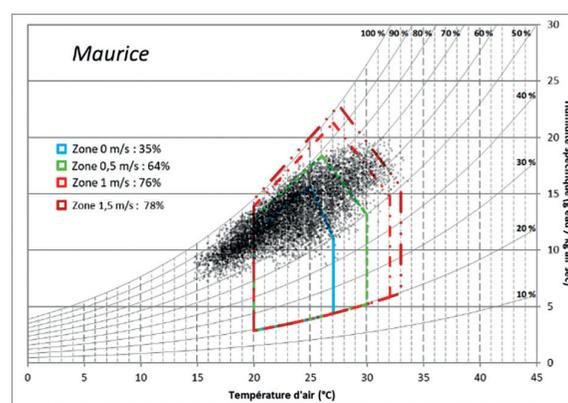
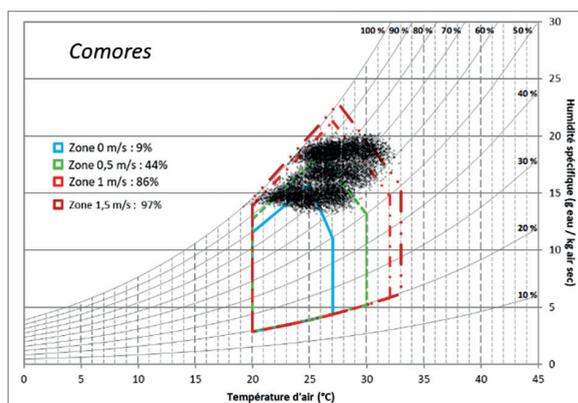
2.2.2. Conditions climatiques des pays de la COI

Les conditions climatiques (données annuelles au pas de temps horaire des fichiers météo) des pays de la COI ont été représentées sur le diagramme de l'air humide afin de visualiser les taux de confort sur l'année.

On observe une disparité des climats tropicaux étudiés. Aux Comores et aux Seychelles, les températures peuvent atteindre 32-33°C avec des humidités supérieures à 60%. Ces conditions sont situées hors des zones de confort, toutefois, elles ne sont observées que sur une période inférieure à 10% de l'année. Le reste de l'année, les conditions extérieures sont favorables au confort thermique.

A l'île Maurice, on note que les conditions climatiques ne dépassent que peu la zone de confort de 1,5 m/s pendant la saison chaude. En revanche, on note qu'environ 20% de l'année, la température extérieure est inférieure à 20°C qui constitue la limite basse du confort pour un habillement d'été. Une modification de l'habillement en saison d'hiver austral permet de palier à cet inconfort.

Pour Tananarive, on observe des conditions climatiques beaucoup plus froides que dans les autres Etats de la COI. Toutefois, ce climat n'est pas représentatif des villes côtières de Madagascar qui présentent des conditions climatiques de type tropicales, se rapprochant de celles des autres pays de la COI.



2.3. CONFORT ET BIEN-ETRE DANS LES BATIMENTS BIOCLIMATIQUES

Caractéristiques des bâtiments sains et écologiques :

- **Ventilation et qualité de l'air intérieur**
La ventilation naturelle permet de diminuer les concentrations de CO₂, COV (composés organiques volatiles) et d'autres polluants.
- **Confort thermique**
Le taux de performance des occupants est plus important dans les bâtiments dans lesquels les utilisateurs peuvent contrôler leurs conditions de confort par l'ouverture des fenêtres, la ventilation.
- **Eclairage naturel et contrôle de l'éclairage artificiel**
Des bureaux sains ont un accès généreux à la lumière naturelle et un contrôle sur l'éclairage artificiel.
- **Bruit et confort acoustique**
Des bureaux sains utilisent des matériaux qui réduisent le bruit et offrent des espaces calmes pour travailler.
- **Aménagement intérieur et conception active**
Des bureaux plus sains disposent d'un large éventail d'espaces de travail avec de vastes salles de réunion, des zones calmes et des postes de travail assis debout pour promouvoir l'activité au sein des bureaux. La flexibilité du travail aide les salariés à mieux maîtriser sa charge de travail et engendre la fidélité des équipes.
- **Vues sur l'extérieur et espaces verts**
Des bureaux plus sains disposent d'une grande variété de plantes à l'intérieur et à l'extérieur ainsi que des vues sur la nature depuis les espaces de travail.

Pourquoi ?

101% d'amélioration des scores cognitifs des salariés observés dans des bureaux correctement ventilés

6% de diminution des performances des salariés observées lorsque les bureaux sont trop chaud et **4%** lorsque les bureaux sont trop froids

46 minutes de sommeil en plus pour les salariés de bureaux proches d'une fenêtre

66% de diminution de la productivité en raison de bruits distrayants

7-12% d'augmentation de la productivité dans des bureaux avec une vue sur la nature.

2



3

- 3.1. Implantation du bâtiment
- 3.2. Environnement du bâtiment
- 3.3. Ventilation naturelle
- 3.4. Protection solaire
- 3.5. Lumière naturelle

Les règles d'or en climat tropical pour la conception de bâtiments sains, confortables et économes en énergie sont les suivantes :

- Limiter les apports de chaleur par les parois et évacuer les apports internes ;
- S'entourer de végétation pour limiter l'effet d'îlot de chaleur ;
- Utiliser le potentiel naturel de l'environnement (ventilation, lumière) ; et
- Sensibiliser les utilisateurs afin qu'ils soient actifs.



Conception

CONCEPTION

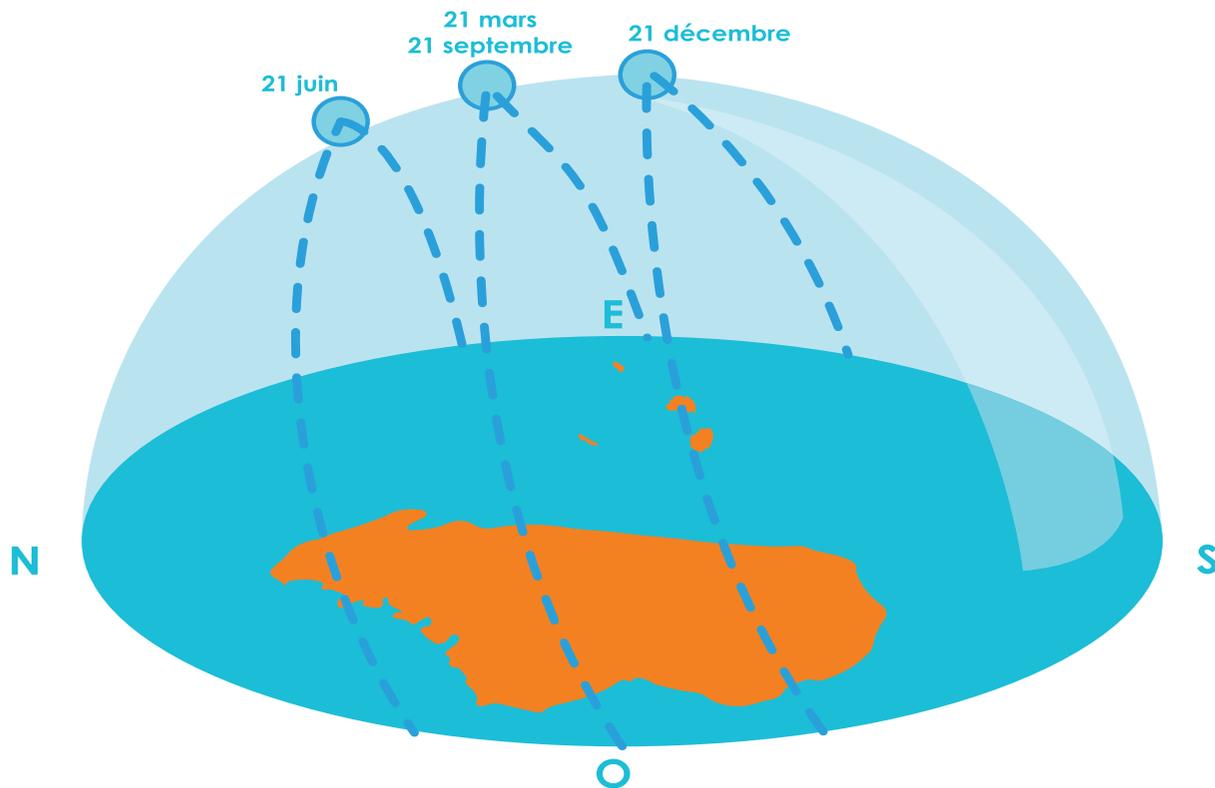
3.1. IMPLANTATION DU BATIMENT

L'implantation du bâtiment sur son site doit permettre de minimiser les contraintes climatiques en orientant les façades par rapport à l'ensoleillement solaire, aux vents disponibles, mais également au terrain (pente, arbres existants, parcelles voisines).

3.1.1. Orientation des façades en fonction de l'ensoleillement

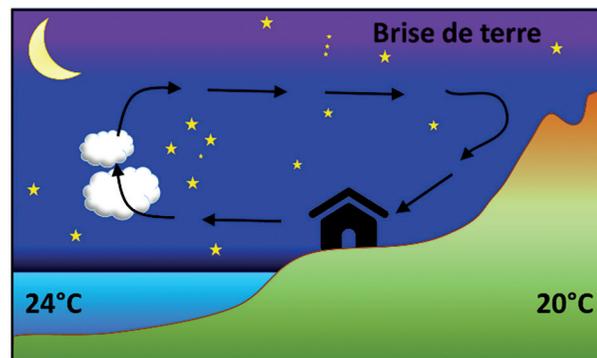
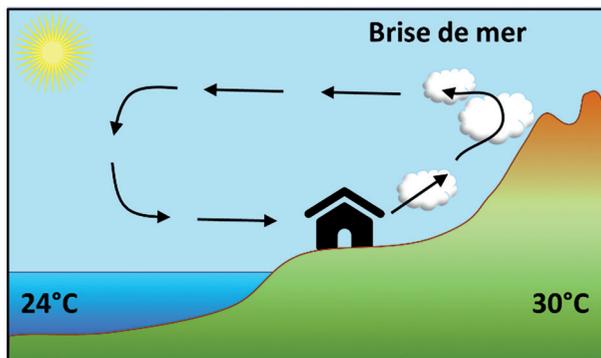
Les façades est et ouest sont les plus sollicitées par le rayonnement solaire. Une orientation des façades principales vers le nord et le sud rend leur protection solaire plus aisée car moins elles sont moins exposées au soleil horizontal des façades est et ouest. Des auvents constituent une protection solaire efficace au nord et au sud.

Représentation de la course du soleil dans l'océan Indien



3.1.2. Orientation des façades en fonction des vents disponibles

Sur les zones côtières, les brises thermiques soufflent perpendiculairement à la côte et pendant la saison chaude. Elles sont très efficaces pour ventiler naturellement les bâtiments pendant la journée (brises marines) et pendant la nuit (brises terrestres). Les alizés soufflent pendant l'hiver austral et il est généralement souhaitable de s'en protéger car leur force est trop importante pour ventiler de façon confortable les espaces intérieurs.



3.2. ENVIRONNEMENT DU BATIMENT

3

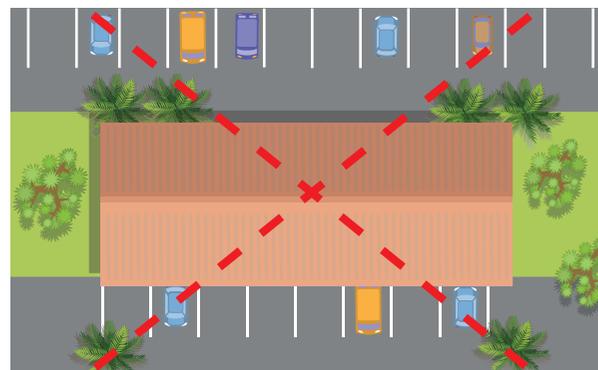
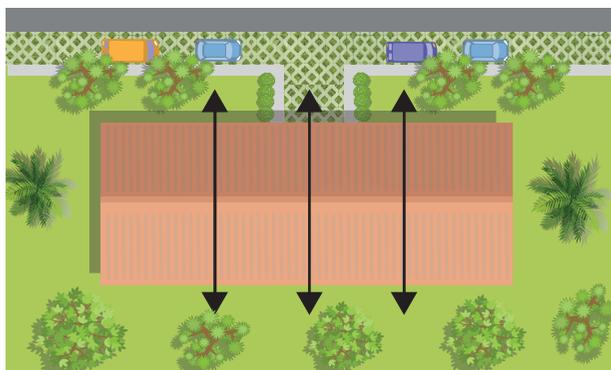
Les surfaces bitumées doivent être évitées au maximum aux abords des bâtiments pour éviter la création d'îlot de chaleur.

A l'inverse, la végétalisation des abords des bâtiments est particulièrement efficace pour créer des îlots de fraîcheur. La diminution de la température extérieure grâce à la végétation peut être de l'ordre de 8°C comparé à un espace urbain bitumé.



RECOMMANDATION :

Les façades des bâtiments doivent être végétalisées sur une bande d'au moins 3 mètres de largeur sur 80% des façades. Il est important de créer une canopée végétale constituée de plusieurs espèces végétales de différentes hauteurs.





A RETENIR !

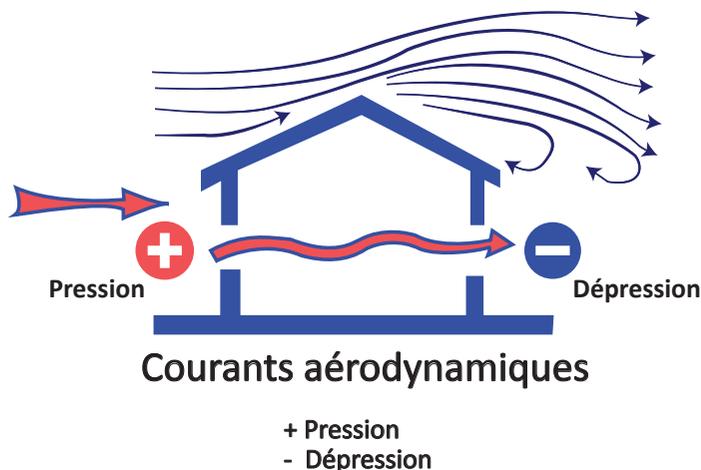
La végétation autour d'un bâtiment sur une largeur d'au moins 3 mètres avec plusieurs strates de végétaux permet de gagner jusqu'à 8°C par rapport à un espace bitumé.

3.3. VENTILATION NATURELLE

3.3.1. Principes physiques

Ventilation par pressions et dépressions

Lorsque le vent entre en collision avec un bâtiment, différentes pressions sont observées de différents côtés du bâtiment. Le côté dans lequel le vent souffle aurait une pression d'air supérieure à celle du côté opposé; de la sorte, l'air situé du côté de la pression la plus élevée se dirigera vers une zone de pression plus basse, qui dans ce cas serait l'intérieur du bâtiment. Une autre ouverture du côté basse pression permettrait à l'air intérieur de circuler vers le côté avec la pression d'air inférieure (Pearce & Benjamin, 2010).



3

Ventilation par pile

L'effet de pile est basé sur le fait que l'air chaud augmente lorsque l'air froid tombe. Ceci est dû à des densités différentes; quand l'air est chauffé, il devient moins dense, ce qui lui permet de s'élever, poussant l'air plus froid vers le bas. En créant un courant d'air ascendant, ce concept est très important dans la méthode de ventilation par cheminées.

Pour que cette méthode fonctionne, le climat doit être favorable, ce qui signifie que l'intérieur du bâtiment doit contenir un air plus chaud que l'air extérieur. Avec des ouvertures aux niveaux inférieur et supérieur du bâtiment, l'air chaud à l'intérieur monterait et sortirait du bâtiment par les ouvertures du haut, tandis qu'un air plus froid venant de l'extérieur entrerait par les ouvertures situées près du bas. Une plus grande différence de température rendrait ce système très efficace (Pearce & Benjamin, 2010).

3.3.2. Bénéfices de la ventilation naturelle

La ventilation naturelle est un atout fondamental de la conception bioclimatique et du contrôle du bien être thermique des occupants.

Les bénéfices de la ventilation naturelle sont les suivants :

- **Ventilation sanitaire** : évacuation des polluants liés à l'occupation (vapeur d'eau, CO₂), les odeurs, la fumée, les polluants venant des matériaux de construction (COV, formaldéhydes) pour assurer la qualité de l'air intérieur.

Les risques sanitaires associés à un renouvellement d'air hygiénique insuffisant sont :

- **Niveau d'oxygène faible qui peut causer des pertes de mémoire aux occupants ;**
 - Humidité excessive qui peut entraîner la croissance de moisissures et des dommages structurels. Les moisissures causent également des risques respiratoires.
 - Les composés organiques volatiles ainsi que les formaldéhydes généralement émis par les produits de construction, de décoration et d'ameublement présentent des risques sanitaires variables selon les composés pouvant causer des irritations, des maux de têtes, des nausées et qui sont également cancérigènes.
- **Evacuation des apports thermiques** : charges thermiques internes (équipements, occupants) et externes (apports solaires) ;
- **Ventilation par mouvement d'air** : création d'une vitesse d'air apte à accélérer l'évapotranspiration cutanée et ainsi à abaisser la température ressentie.

Les différents niveaux de ventilation décrits ci-dessus sont détaillés dans le tableau suivant :

Débit d'air	Santé, hygiène	Evacuation des apports	Vitesse d'air sur les occupants	Moyens disponibles
0,5 à 2 vol/h	OK	Insuffisant	Insuffisant	Ventilation mécanique (VMC) Ouverture de quelques dm ²
5 à 15 vol/h	OK	OK	Insuffisant	Ouverture de l'ordre du m ² par pièce Brasseur d'air indispensable pour assurer le confort thermique
> 20 vol/h	OK	OK	OK	Ventilation traversante Ouverture de plusieurs m ² par façade

D'où vient la pollution de l'air intérieur au bureau ?



L'air intérieur est parfois jusqu'à **5 fois plus pollué** que l'air extérieur. hors, nous passons plus de **80% de notre temps** dans des espaces clos.

Cette pollution peut avoir des **effets sur votre santé** : allergies, irritation des voies respiratoires, maux de tête voire intoxications.



Conseils :

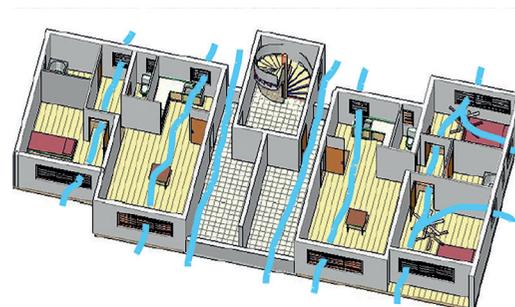
Aérer et ventiler!

Eviter les bougies parfumées, les sprays, les pesticides à l'intérieur...

3.3.3. Préconisations sur la ventilation naturelle

Un bâtiment ventilé naturellement doit satisfaire les préconisations suivantes :

- Etre traversant c'est-à-dire posséder des ouvertures sur au moins deux façades opposées, permettant une ventilation diurne et nocturne ;
- Les façades principales doivent avoir une porosité de l'ordre de 25% ; cette valeur pouvant être diminuée à 20% à Maurice et à 10% pour la zone d'altitude (> 800 m) de Madagascar.



3

	Seychelles Comores Madagascar < 800 m	Maurice	Madagascar > 800 m
Porosité des façades principales	25%	20%	10%

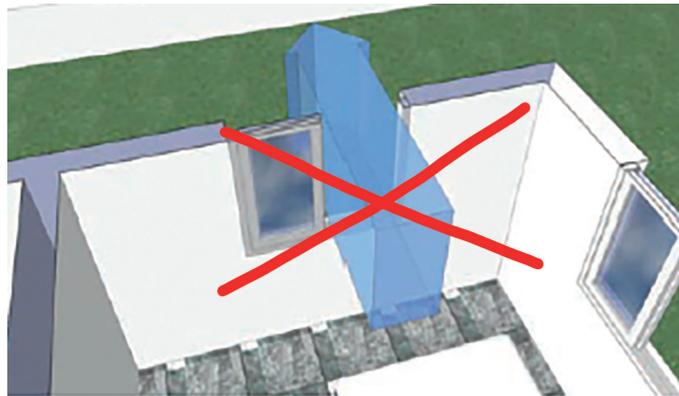
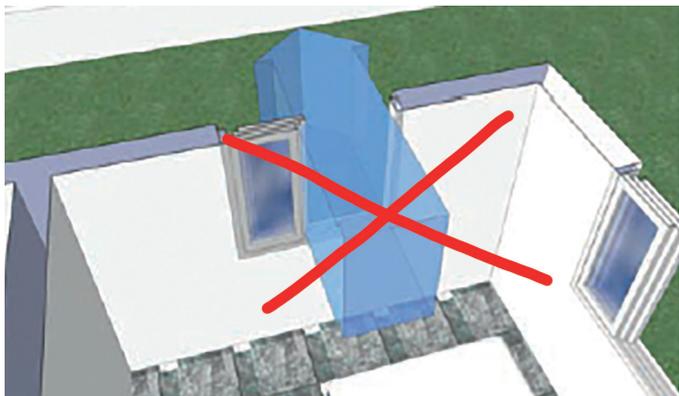


DEFINITION

La porosité correspond à la surface d'ouverture (passage libre à l'air) divisée par la surface de la façade.

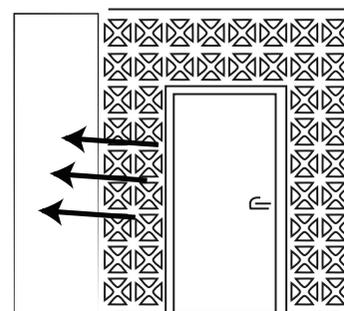
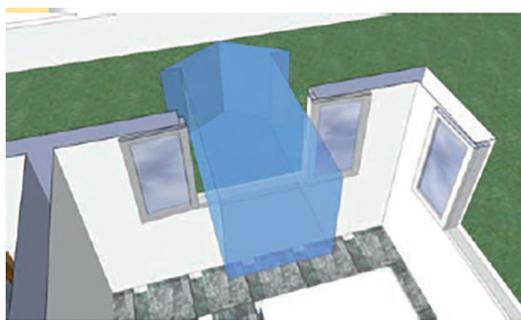
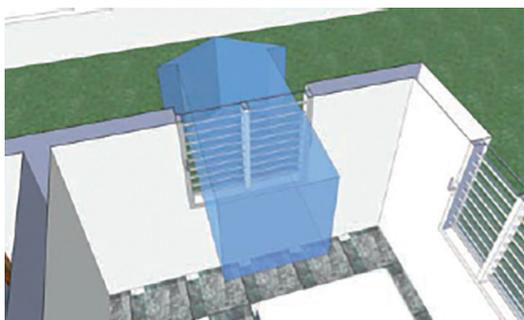
Recommandations sur le choix des ouvrants

Les menuiseries de type coulissants sont déconseillées car elles empêchent une partie du passage du flux d'air.



Les menuiseries de type **jalousies ou ouvrants à la française** sont **conseillées** car elles permettent de laisser passer le flux d'air et de le moduler dans le cas des jalousies ou d'ouvrants à la française avec entrebâilleur.

3



A RETENIR !

Il est important de choisir des ouvrants qui ne bloquent pas le passage du flux d'air et qui permettent de moduler celui-ci.

Les nacos ou jalousies sont idéales de ce point de vue là.

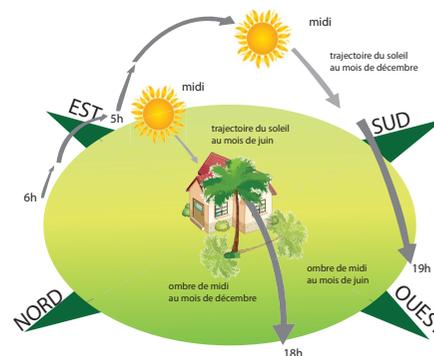
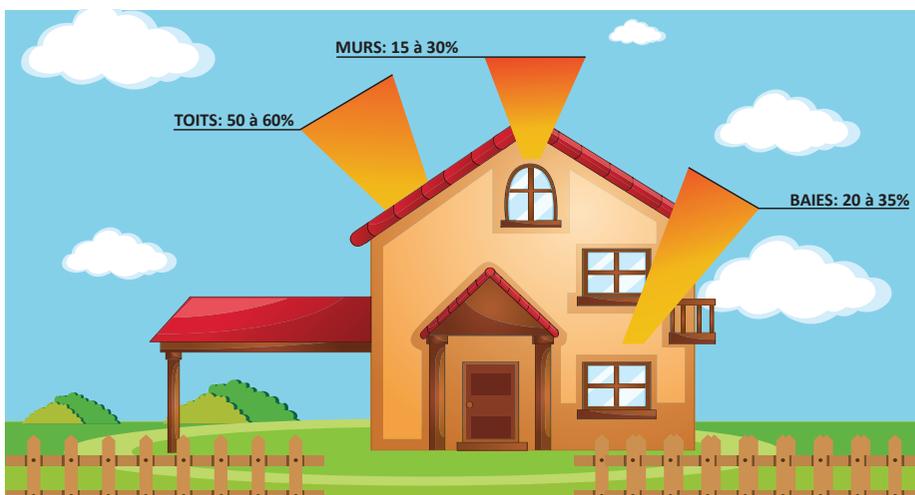
3.4. PROTECTION SOLAIRE

3.4.1. Apports solaires sur les façades

Sous les latitudes des pays de la COI, l'élément de façade qui reçoit la plus grande part du rayonnement solaire est la **toiture avec 50 à 60%** des apports solaires en moyenne.

Les **baies reçoivent 20 à 35%** des apports solaires en moyenne. Les **murs reçoivent 15 à 30%** des apports solaires.

Il est donc primordial de protéger en priorité la toiture des bâtiments ainsi que les baies.



3

3.4.2. Protections solaires des baies

La mise en œuvre de protections solaires adaptées est fondamentale pour concevoir un bâtiment thermiquement performant. Les baies doivent être protégées du rayonnement solaire direct grâce à des pare-soleils correctement dimensionnés.

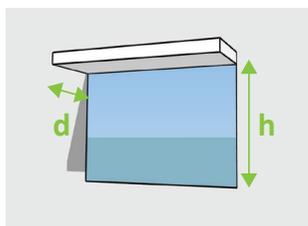
Les diagrammes solaires constituent un outil simple pour dimensionner des protections solaires (chapitre 1).



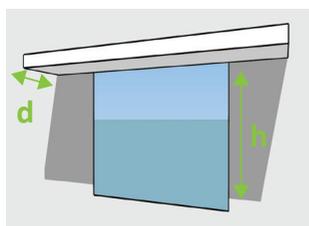
A RETENIR !

- Au nord et au sud, les protections solaires horizontales sont efficaces (débords de toiture, auvent, varangue)
- A l'est et à l'ouest, il faut privilégier les protections solaires verticales (volets persiennés, brise-soleils, protections solaires mobiles)

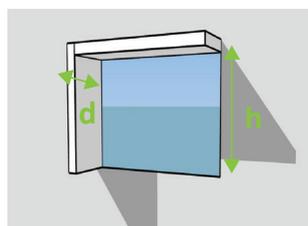
Recommandations pour les dimensions des débords.



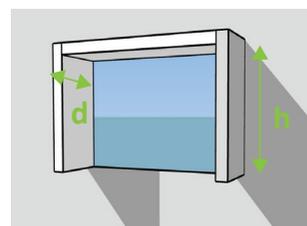
Débord fini



Débord prolongé



Débord avec une joue



Débord avec deux joues

Les tableaux suivants indiquent la profondeur des débords « d » minimale nécessaire pour assurer une protection solaire correcte en fonction de la hauteur « h » de la fenêtre à protéger

3

	Comores Seychelles Madagascar (lat > - 16°)	Nord	Est	Sud	Ouest
	Débord fini	Dispositif inapplicable	Dispositif inapplicable	Dispositif inapplicable	Dispositif inapplicable
	Débord prolongé	0,5 x h	0,8 x h	0,8 x h	0,8 x h
	Débord avec une joue	0,8 x h	0,8 x h	0,8 x h	0,8 x h
	Débord avec deux joues	0,5 x h	0,5 x h	0,4 x h	0,5 x h

	Maurice Madagascar (lat < - 16°)	Nord	Est	Sud	Ouest
	Débord fini	0,8 x h	0,8 x h	Dispositif inapplicable	1 x h
	Débord prolongé	0,4 x h	0,6 x h	Dispositif inapplicable	0,8 x h
	Débord avec une joue	0,4 x h	0,6 x h	1 x h	0,6 x h
	Débord avec deux joues	0,3 x h	0,5 x h	0,5 x h	0,5 x h



POUR EN SAVOIR PLUS

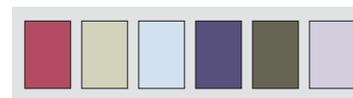
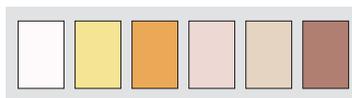
Les solutions techniques proposées ici permettent d'atteindre une valeur de facteur solaire de l'ordre de 60% pour les vitrages. Pour plus de détails sur les calculs de facteurs solaires ainsi que les valeurs des coefficients d'ensollement pour chaque pays, référez-vous à l'annexe.

3.4.3. Protection solaire des parois opaques

Trois moyens permettent de protéger une paroi opaque du rayonnement solaire :

<p>Résister au passage de la chaleur par les parois par la mise en place d'isolant.</p>	<p>Mettre à l'ombre la paroi: par des débords de toiture des casquettes, des varangues ou des sur-toitures.</p>	<p>Réfléchir le rayonnement solaire par le choix d'une couleur claire sur la façade extérieure.</p>
		

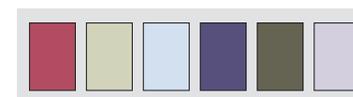
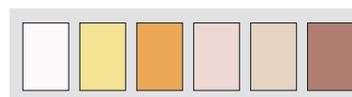
Solutions techniques pour les toitures



	Couleur claire	Couleur sombre
	Béton 20 cm	Sur-toiture ventilée
Peinture réfléchissante		
Isolant 5 cm		Isolant 7 cm
Tôle + combles fermés	Peinture réfléchissante	
	Isolant 5 cm	Isolant 7 cm
	Peinture réfléchissante	
Tôle + plaques de plâtre	Isolant 5 cm	Isolant 7 cm

3

Solutions techniques pour les murs



	Couleur claire	Couleur sombre
	Béton 18 cm	Débord de 0,6 m
Isolant de 1 cm		Isolant de 2 cm
Parpaing 20 cm	Pas de débord nécessaire	Débord de 3 m
	Pas d'isolant nécessaire	Isolant de 2 cm
Brique de terre compressée 20 cm	Pas de débord nécessaire	Débord de 0,3 m
Paroi métallique + doublage intérieur	Débord de 1 m	
	Isolant de 1 cm	Isolant de 2 cm
Paroi bois + doublage intérieur	Pas de débord nécessaire	Débord + une joue de 1,5 m
	Pas d'isolant nécessaire	Isolant de 2 cm

3.5. LUMIERE NATURELLE

L'éclairage naturel est essentiel à une architecture écologique, quelques soient les conditions climatiques, pour assurer le confort visuel et réduire la consommation d'énergie conventionnelle tout en réduisant les apports thermiques causés à l'intérieur par l'éclairage artificiel.

L'une des méthodes permettant d'accroître l'efficacité énergétique d'un bâtiment consiste à réduire la quantité d'énergie dépensée en éclairage grâce à une utilisation complète de la lumière naturelle. La simple lumière du soleil peut faire économiser de l'argent sur la facture d'énergie en réduisant le besoin d'utiliser des appareils d'éclairage au sein d'un bâtiment.

La lumière naturelle a aussi des bienfaits pour le bon fonctionnement de l'organisme. En effet, l'œil humain ne peut percevoir tout le spectre lumineux et celui-ci est plus réceptif à certaines variantes de la lumière. Le rythme biologique des humains, des animaux et des plantes est influencé par la qualité et la quantité de lumière reçue. Il est donc nécessaire d'en apporter suffisamment au quotidien pour conserver la bonne succession des phases d'éveil et de sommeil. De plus, la lumière naturelle participe à la production de vitamine D par l'organisme, celle-ci ayant un rôle dans son renforcement.

La recherche démontre une corrélation claire entre les salles de classe avec une bonne lumière naturelle et l'amélioration de la performance des élèves et l'assiduité. Les enfants se concentrent mieux à la lumière naturelle et sont plus concentrés et moins distraits. Plus de lumière, plus ils sont en bonne santé, avec une meilleure assiduité à l'école.

Quelques soit la taille du bâtiment, il est important d'analyser tous les éléments de sa situation géographique (le climat, les saisons, l'ensoleillement, la ventilation). La lumière qui pénètre dans un bâtiment varie selon plusieurs facteurs :

L'emplacement et l'orientation

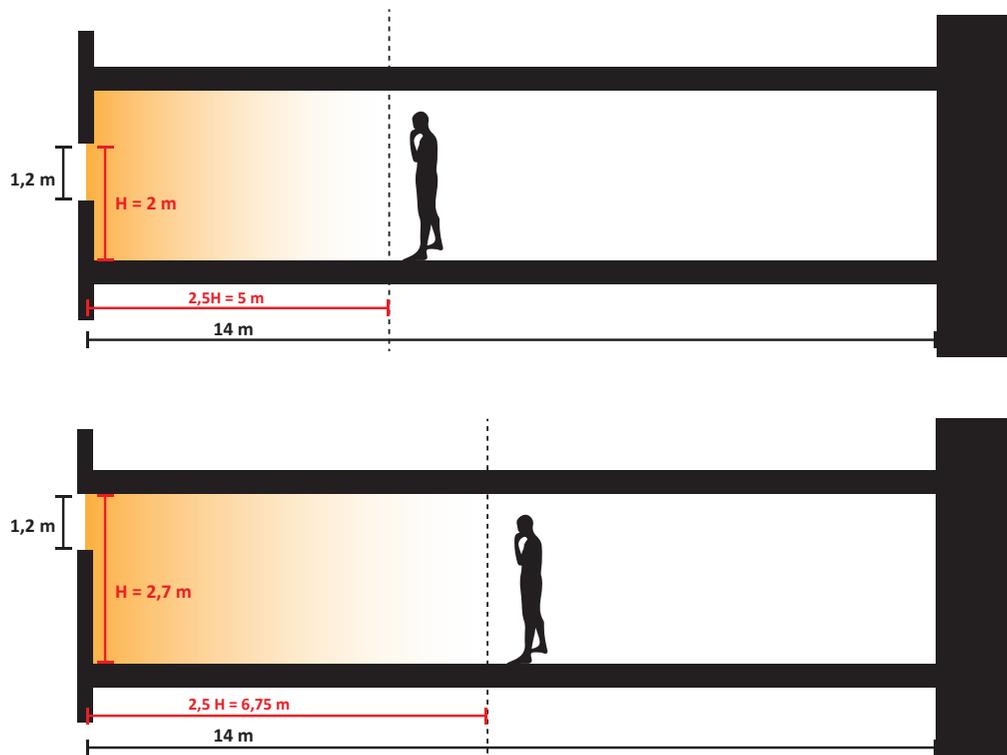
Globalement, un des facteurs les plus influents est l'orientation du bâtiment par rapport au soleil. La lumière améliore aussi le confort visuel des pièces. Afin de profiter au maximum de la lumière du soleil, il importe de prioriser au nord les pièces de séjour, et les espaces de vie principaux, les escaliers entre autres. Les locaux orientés au sud sont fréquemment réservés pour les chambres.

L'emplacement et la taille des ouvertures

L'emplacement et la dimension des ouvertures ont également un impact sur les besoins des pièces et des espaces intérieurs. En plus du confort visuel, elles permettent un contrôle du type d'éclairage souhaité selon l'usage. Que la fenêtre se positionne au plafond, au haut ou au centre du mur, la lumière qui entre dans le bâtiment diffère, ce qui crée un éclairage particulier pour l'utilisation.

Plus la fenêtre est élevée, plus la zone éclairée naturellement est profonde et meilleure est l'uniformité d'éclairage.

3



Les abords du bâtiment

Il est également important de voir quel est le dégagement disponible autour du bâtiment. Si ce dernier se situe dans un secteur urbain ou dans un jardin arboré, la percée de la lumière naturelle du soleil sera compliquée. Il est donc nécessaire de travailler sur la conception et de l'implantation architecturales du bâtiment pour permettre le plus possible à la lumière de s'y infiltrer.

Tous ces facteurs sont en interrelations et permettent entre autres un meilleur rendement énergétique.

A RETENIR !

Pour favoriser la lumière naturelle en évitant le rayonnement solaire direct sur les occupants :

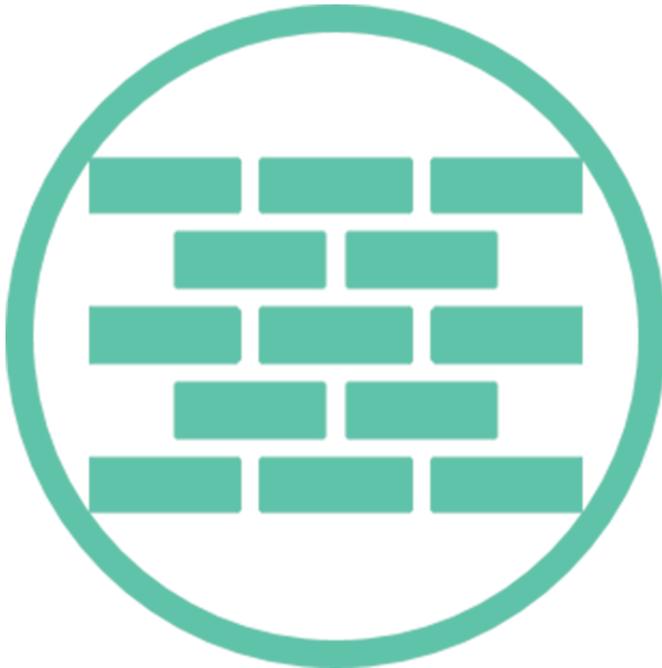


- Privilégier les protections solaires extérieures déportées de la façade qui permettent de laisser rentrer la lumière diffuse (brises soleil) ; et
- Eviter les rideaux intérieurs opaques, stores intérieurs, films solaires, vitrages teintés qui diminuent la lumière naturelle et ne sont pas compatibles avec un fonctionnement en ventilation naturelle.

4

- 4.1. Murs
- 4.2. Toitures
- 4.3. Menuiseries

Les matériaux de construction varient d'île en île. Ils ont évolué avec l'arrivée du ciment. Cette section décrit les différents types de construction pour la structure et l'enveloppe des maisons dans les îles de l'océan Indien.



Matériaux

MATERIAUX

4.1. MURS

Dans tous les pays, les murs sont construits soit avec une ossature béton et acier ou simplement avec des murs qui sont généralement construits avec des blocs de béton creux préfabriqués. Une couche interne et externe de ciment de sable (enduit) est ensuite appliquée sur les murs. Les surfaces sont généralement peintes.



Seychelles



Comores

Différents types de matériaux sont utilisés pour la construction des murs. On trouve des fois les briques rouges de terre compressée stabilisée aux Comores et à Madagascar.

On peut aussi trouver des murs en terre crue ou en adobe à Madagascar.

Pour une des types des maisons malgaches, on peut trouver les 'trano feta' qui sont fait de mortier (boue : on prend de la terre qu'on ajoute d'eau avant de mélanger et laisser sécher) selon une autorisation spécifique. Lorsque le mortier est sec, on y rajoute une autre couche jusqu'à la finition de la maison.



Comores - briques rouges



Madagascar - Terre Crue



Seychelles - Ravinala

Parfois des pierres naturelles sélectionnées sont aussi utilisées. Ce type de construction s'appelle aussi la maçonnerie de moellons. A Maurice, c'est de la pierre volcanique. A Madagascar, aux Seychelles et aux Comores, les moellons sont généralement en pierres de calcaire, de granit, de schiste ou de gneiss. Aux Seychelles, aux Comores et à Madagascar, les murs sont aussi construits avec des Claustras.



Madagascar - Pierres naturelles



Seychelles - Claustras

Des blocs de béton creux préfabriqués sont souvent utilisés pour construire des murs intérieurs des maisons. Une couche externe de crépissage est ensuite appliquée aux murs qui se lient à une couche et une peinture émulsion à trois couches.

Il y a une plus grande variété de matériaux utilisés dans certains pays comme pour les murs externes.

4.2. TOITURES

Pour la toiture, une dalle plate en béton armé est souvent utilisée pour les maisons dans les quatre pays. En étanchéité, une membrane d'étanchéité bitumineuse à double couche est posée sur les toits plats ou simplement les dalles ne sont pas traitées par une étanchéité. Pour éviter les surchauffes, elles sont parfois peintes avec une couleur claire. Une couche de gravier est parfois utilisée pour augmenter légèrement l'isolation thermique.

A Maurice, les toitures en pente sont aussi faites en béton armé et recouvertes d'une étanchéité. On peut aussi trouver des toitures finies avec de la tôle ou des tuiles, placés sur la dalle.

Dans les autres pays, les maisons ont des toitures métalliques (en tôle ondule galvanisée, tôle plane galvanisée, tôle noire ou tôle translucide) et des toitures en bois (ardoise, lattis ou bardeaux).

A Madagascar, les tuiles en terre cuit et les toitures végétales sont utilisées. Les malgaches utilisent aussi la paille de riz, le bambou, le 'ravinala' et le 'bozaka' pour construire leurs toits.

Aux Seychelles, n'ayant pas de problème de vents forts, il y existe plusieurs types de toitures. La structure est faite en charpente en bois avec de la tôle. Souvent les toitures sont ventilées.



Madagascar - Raphia



Madagascar - Ravinala



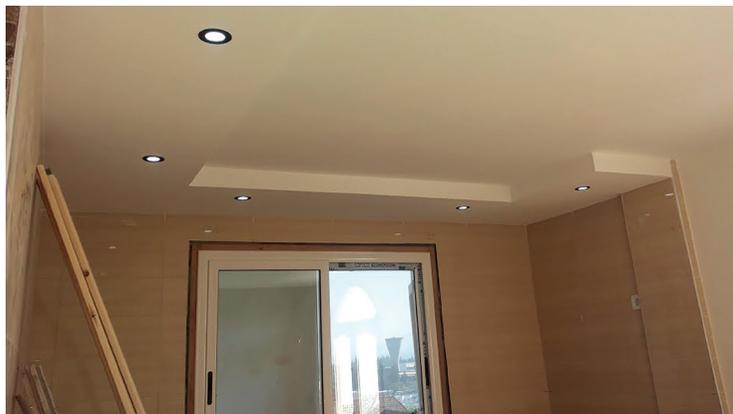
Comores - Béton



Seychelles - Tôle

Les dessous de dalles de toiture sont finis avec le crépissage qui est un enduit ciment et rock sand de 5 à 8 mm d'épaisseur suivi par une peinture qui est appliqué au plafond. Dans des maisons contemporaines,

on se retrouve souvent sous des plafonds en staff (placoplâtre) ou des plafonds suspendus, aussi connu sous le nom de faux-plafonds. Des voliges sont souvent fixées au plafond.



Madagascar - Terre Crue



Seychelles - Ravinala

Aux Comores, la paille de coco tressée est utilisée pour des éléments d'ombrage (sur toiture, débord).



4.3. MENUISERIES

Les portes extérieures sont généralement faites en bois. D'autres matériaux utilisés pour les portes extérieures sont l'aluminium ou du pvc avec du simple vitrage clair.

4



Les fenêtres en PVC et en aluminium sont aujourd'hui très répandues dans l'architecture dans les îles. Ils ont du simple vitrage clair. Toutes les fenêtres sont constituées de la même manière, soit avec un cadre fixe dit dormant, un cadre mobile dit ouvrant ou coulissant.

Le bois est toujours utilisé dans certains cas.

Dans tous les pays, on retrouve aussi les fenêtres jalousies « Naco », utilisées auparavant. A Maurice, on retrouve les nouveaux systèmes en aluminium.



Seychelles - naco



Maurice - jalousies en aluminium

Les surfaces vitrées entraînent un apport d'énergie. Le verre clair est normalement le verre de choix dans les îles. Le verre à pellicule à faible émissivité (low-e) est utilisé pour réduire la chaleur entrante. Le verre réfléchissant ou des films solaires sont aussi utilisés. Ceux-ci comportent des inconvénients ils induisent une réduction de l'éclairage naturel et aussi une augmentation de la température radiante à l'intérieur. Ils ne sont pas recommandés du point de vue énergétique.

Les vitrages à hautes performances constituent un choix intéressant en choisissant un coefficient de gain de chaleur solaire faible (CGCS/SHGC). Dans tous les cas, il est préférable de protéger les surfaces vitrées par des éléments de protection solaire (casquette, débord, brise-soleil) - cf paragraphe 3.4.

4.4. RESISTANCE THERMIQUE DES MATERIAUX

La puissance de la propriété isolante des matériaux est mesurée par sa résistance thermique, facteur R. Plus le facteur R d'un isolant est élevé, plus il est efficace en ne laissant pas pénétrer la chaleur et le froid. Plus la valeur R est élevée, meilleur est le système d'isolation. Dans le domaine de l'isolation, on fait la somme des valeurs R de tous les matériaux d'une paroi afin de trouver l'épaisseur de l'isolant à y ajouter pour atteindre le degré d'isolation voulu.

Afin d'obtenir un meilleur rendement au niveau de la consommation d'énergie du bâtiment, il est possible d'augmenter la valeur de ces résistances thermiques. Le résultat se traduira par des économies de climatisation (ou de chauffage) dans la plupart des cas. Toutefois, une enveloppe trop isolée peut avoir un résultat contraire, en ne laissant pas évacuer la chaleur accumulée.

La valeur U, qui est aussi utilisée, est l'inverse de la valeur R. Elle indique la quantité de chaleur qui passe. Plus la valeur U est petite, meilleur est l'isolation thermique.

5

- 5.1. Brasseurs d'air
- 5.2. Climatisation
- 5.3. Eclairage artificiel
- 5.4. Production d'eau chaude sanitaire solaire
- 5.5. Energie solaire photovoltaïque

Ce chapitre donne des informations sur les principaux équipements électriques consommateurs dans le but de choisir des systèmes efficaces énergétiquement, de bien les dimensionner et de limiter leur utilisation au strict nécessaire.

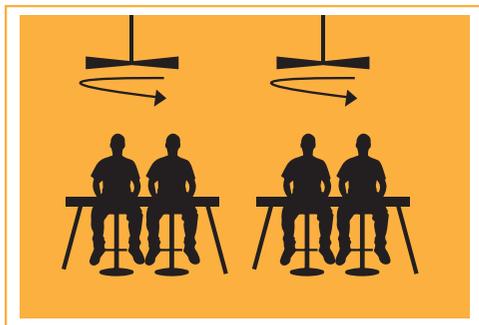


Equipements

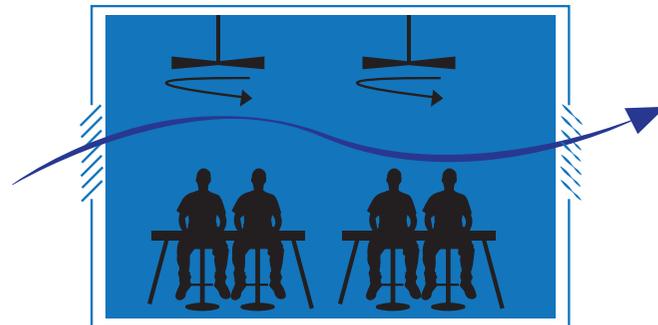
Equipements

5.1. BRASSEUR D'AIR

Le brasseur d'air est un élément fondamental lors de la conception de bâtiments à basse consommation en milieu tropical. Il permet de créer une vitesse d'air de 1 m/s lorsque la ventilation naturelle est insuffisante. Un brasseur d'air ne peut être utilisé que si la ventilation naturelle est efficace pour évacuer les apports thermiques. L'utilisation d'un brasseur d'air permet de diminuer de plusieurs degrés la température ressentie par les occupants.



Air non renouvelé ➡ T° augmente



«28°C + brasseur d'air = 24°C»

Recommandations sur le choix et la mise en œuvre des brasseurs d'air

- Pâles en bois, résine ou plastique, éviter le métal (risque de rouille) ;
- Angle d'attaque des pâles : 10° minimum ;
- Privilégier des brasseurs d'air de grand diamètre : supérieur à 120 cm ;
- Hauteur minimale de mise en œuvre recommandée : 2,3 m sous pâles ;
- Distance entre les pâles et le plafond : 30 cm minimum ;
- Un brasseur d'air pour 10 à 15 m² environ ;
- Le débit d'air créé dépend en outre de la géométrie du brasseur d'air : il augmente avec le diamètre des pâles, mais aussi avec leur surface et leur inclinaison ; et
- Plus le diamètre des pâles est grand, plus le débit d'air à faible vitesse est grand, limitant ainsi les éventuelles nuisances acoustiques.



A RETENIR !

- La mise en œuvre de brasseur d'air est obligatoire dans toutes les pièces à occupation prolongée à raison d'un brasseur d'air pour 10 à 15 m²
- Les brasseurs d'air peuvent être utilisés dans des bâtiments ventilés naturellement ainsi que dans des bâtiments climatisés (augmentation de la consigne de température) : réduction de 40 à 80% de la facture d'électricité.



POUR EN SAVOIR PLUS

Attention au calepinage en veillant à éviter l'effet stroboscopique causé par le passage d'une pôle dans le flux d'une source lumineuse.

Voir l'exemple d'une salle informatique du bâtiment ENERPOS en annexe.

5.2. CLIMATISATION

Les bâtiments dont la conception a été adaptée à leur climat, telle que décrite dans le chapitre traitant de la conception thermique, ne nécessitent généralement pas de recours à la climatisation. Celle-ci doit constituer un moyen exceptionnel pour atteindre le confort des occupants, notamment dans les bâtiments tertiaires.

Limiter les températures de consigne

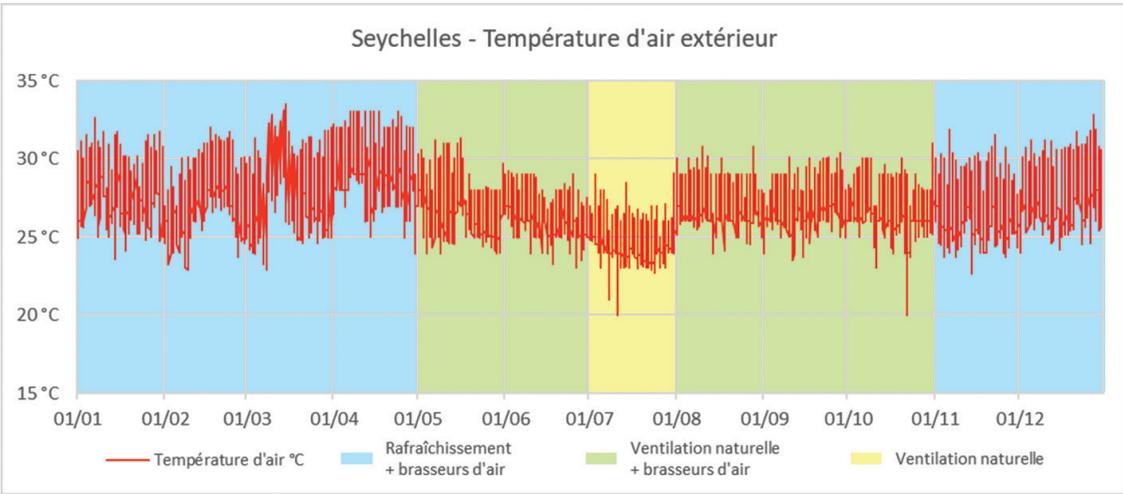
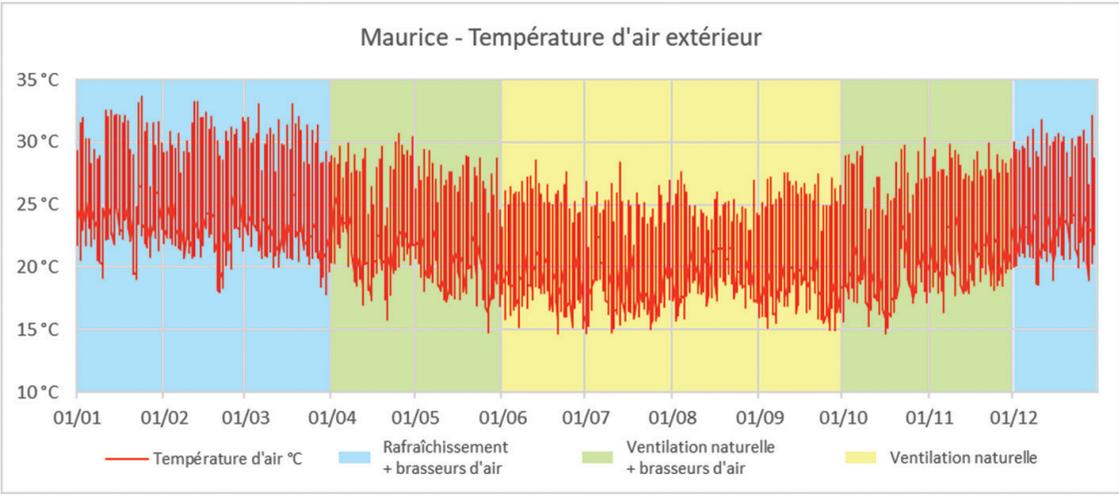
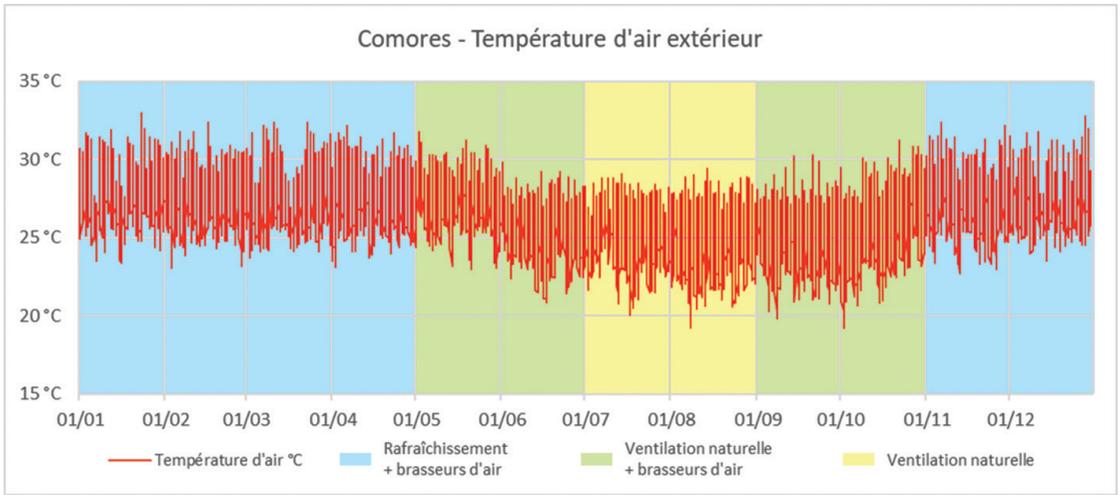
Les systèmes de climatisation doivent être dimensionnés pour un usage en mode rafraîchissement avec une utilisation conjointe des brasseurs d'air et des températures de consigne de 26 à 28°C.

Limiter la durée de fonctionnement de la climatisation

Si le choix est fait d'installer la climatisation, il est indispensable de limiter sa durée de fonctionnement au strict nécessaire. Les modes de fonctionnement du bâtiment sur l'année doivent être définis dès la conception :

- Période sèche : ventilation naturelle uniquement
- Période intermédiaire : ventilation naturelle + brasseurs d'air
- Période chaude et humide : rafraîchissement + brasseurs d'air

Les périodes des trois modes de fonctionnement sont données ci-dessous à titre indicatif pour les Comores, l'île Maurice et les Seychelles en fonction des données de température extérieure. Ces plages de fonctionnement doivent être ajustées en fonction de la localisation, du fonctionnement et des besoins des occupants lors de la conception d'un bâtiment.



Usage	Consommation électrique estimative liée au rafraîchissement d'air
Bâtiment climatisé toute l'année	> 100 kWh/m ² .an
Bâtiment avec rafraîchissement / brasseurs d'air en saison chaude et brasseurs d'air / ventilation naturelle en saison fraîche	40 à 60 kWh/m ² .an
Brasseurs d'air uniquement	< 5 kWh/m ² .an

Choisir des systèmes efficaces et bien dimensionnés

- Privilégier les installations centralisées (groupe à eau glacée, systèmes DRV) aux systèmes de climatisation individuels ;
- Les unités extérieures doivent être correctement ventilées et mises à l'ombre ;
- Choisir des systèmes présentant un bon rendement énergétique (EER > 3) ;
- Dimensionner les installations de climatisation pour un usage en mode rafraîchissement avec une utilisation conjointe des brasseurs d'air et des températures de consigne de 26 à 28°C : une puissance installée de l'ordre de 80 Wf/m² doit être visée ;
- Mettre en place un mode de gestion pour le fonctionnement journalier, hebdomadaire et annuel, l'objectif étant de limiter le fonctionnement aux horaires d'ouverture journaliers et à la saison chaude et humide uniquement.

Nota: Les locaux sensibles comme les locaux informatiques peuvent être climatisés à l'aide de systèmes individuels.



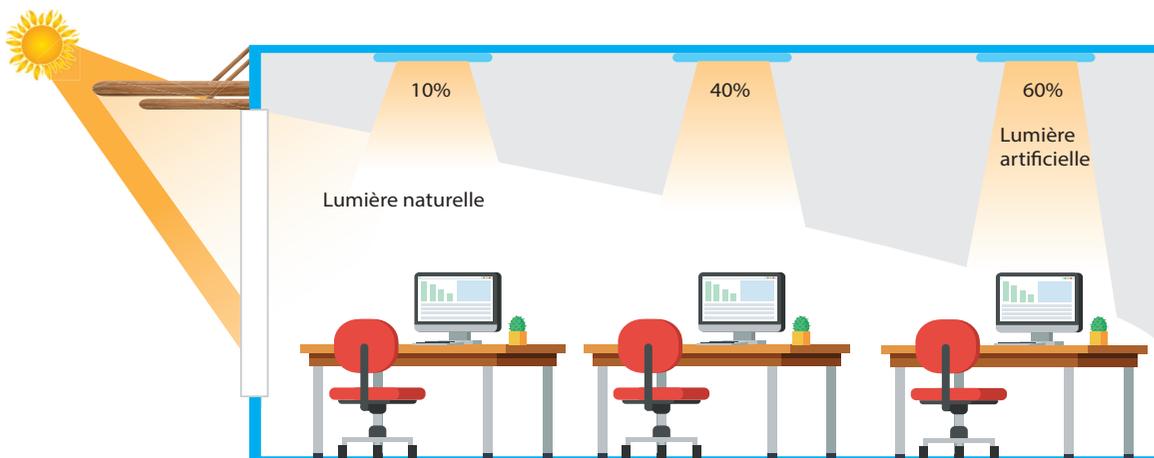
A RETENIR !

- Privilégier les installations de climatisation centralisées, avec un bon rendement énergétique (EER > 3) et une puissance installée correcte (80 Wf/m²) ;
- Limiter les périodes de fonctionnement journalières, hebdomadaires et annuelles au strict besoin (en fonction du climat et de l'usage) ; et
- Choisir des températures de consigne élevées (26 - 28°C) en couplant l'utilisation de la climatisation avec des brasseurs d'air.

5.3. ECLAIRAGE ARTIFICIEL

Privilégier l'éclairage naturel

L'éclairage naturel est à privilégier en évitant toutefois le rayonnement direct sur les occupants. Pour cela, les protections solaires doivent être extérieures et déportées de la façade. L'éclairage artificiel doit être dimensionné en fonction de l'usage du local, de ses horaires de fonctionnement et du potentiel de lumière naturelle.



Choisir des luminaires efficaces.



	Incandescent	Halogène	Fluocompact	LED
Puissance en watts	60 W	35 W	11 W	5 W
Efficacité lumineuse en lumens par watt	12 lm/W	20 lm/W	60 lm/W	> 70 lm/W
Consommation sur 10 ans Usage de bureau	1 250 kWh	730 kWh	230 kWh	100 kWh
Facture d'électricité sur 10 ans	250 €	150 €	50 €	20 €
Nombre d'ampoules à remplacer sur 10 ans	10	6	3	1
Prix unitaire	2 €	3 €	12 €	15 €
Prix des remplacements	20 €	18 €	36 €	15 €
Coût total sur 10 ans	270 €	168 €	86 €	35 €

Limiter la puissance installée de l'éclairage

Pour le secteur résidentiel, l'usage d'ampoules basse consommation ou LED doit être privilégié. La densité de puissance installée doit être inférieure à **3 W/m²** surface utile.

Pour le secteur tertiaire, la densité de puissance installée doit être limitée à **7 W/m²** surface utile.

5.4. PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE SOLAIRE

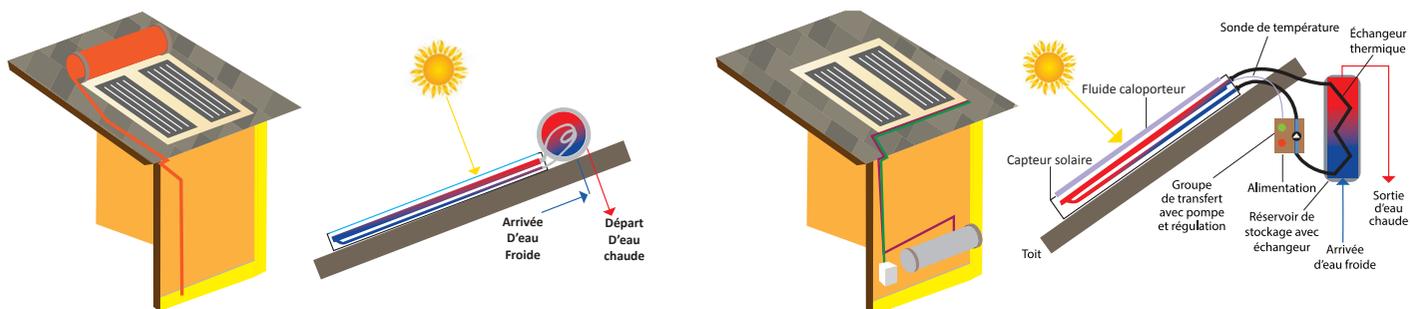
Promouvoir l'énergie solaire thermique

Dans les pays membres de la COI, la production d'eau chaude sanitaire n'est pas systématique. Lorsque celle-ci est nécessaire, l'énergie solaire thermique doit être privilégiée.

Un chauffe-eau solaire de 300 L (4 m² de capteurs) permet d'éviter une consommation annuelle de 1 500 à 3 000 kWh pour un foyer par rapport à un chauffe-eau électrique.

Types d'installations solaires

- **Système à effet thermosiphon** : Capteur et ballon sont installés en un seul bloc sur la toiture ou intégrés à un élément de construction. Le tout est monté sur un châssis servant de support. Chauffée dans le capteur, l'eau monte naturellement vers le ballon calorifugé pour y être stockée, cette circulation naturelle est dite à effet thermosiphon.
- **Système à circulation forcée** : Le capteur et le ballon sont installés séparément. Une pompe assure la circulation de l'eau entre capteur et ballon de stockage dès que la température mesurée dans le capteur est supérieure de quelques degrés à la température du ballon. La consommation de la pompe de circulation est faible (50 kWh/an).



Recommandations sur le dimensionnement des installations d'eau chaude solaire

- **Dimensionnement**
Un **taux de couverture annuel de 70% minimum** doit être visé. Cela correspond à 70% des besoins en eau chaude couverts par la production solaire. Si un appoint électrique existe sur l'installation solaire, il faut veiller à sa gestion (mise en œuvre d'une temporisation de 2 heures par exemple).
- **Orientation des capteurs**
Dans l'hémisphère sud, les capteurs doivent être orientés de préférence entre le **nord-est et le nord ouest**. Le relief ou les bâtiments environnants peuvent parfois mener à choisir une orientation différente pour éviter les effets de masque.

- **Inclinaison des capteurs**
Les panneaux doivent avoir une inclinaison par rapport à l'horizontale comprise entre **10° et 40°**, l'optimal étant la latitude du lieu. En dessous de 15°, le phénomène de thermosiphon fonctionne moins bien et la performance de l'installation solaire est plus faible.
- **Risque d'ombrage**
Les capteurs doivent bénéficier d'un ensoleillement maximal en limitant les **ombres portées** (végétation, mur, décrochement de toiture, bâtiment environnant, ballon de stockage) qui réduisent l'insolation des capteurs et donc la production d'eau chaude.

5.5. ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Dimensionnement d'une installation photovoltaïque

Le watt crête (Wc) correspond à la puissance maximale que pourra débiter le panneau dans des conditions d'éclairement optimal normées. Généralement, 1 kWc correspond à environ 8 m² de panneaux PV.

Pré-dimensionnement de l'installation photovoltaïque

$$\text{Electricité produite annuellement [kWh]} = \text{Nombre de kWc} \times 1\,500 \text{ kWh} \times \alpha$$

Où α est le facteur de correction prenant en compte l'orientation et l'inclinaison des capteurs.

Les tableaux suivants donnent les valeurs de ce facteur correctif α selon la latitude des pays de la COI.

Latitude -20°		Inclinaison [°]					
		0	10	20	30	45	90
Orientation	Sud-Est	96%	91%	85%	77%	65%	34%
	Est	96%	95%	92%	88%	79%	47%
	Nord-Est	96%	95%	98%	96%	89%	53%
	Nord	96%	100%	100%	100%	94%	53%
	Nord-Ouest	96%	98%	98%	96%	89%	53%
	Ouest	96%	95%	92%	88%	79%	47%
	Sud-Ouest	96%	91%	85%	77%	65%	34%
	Sud	96%	90%	82%	72%	56%	26%

Latitude -12°		Inclinaison [°]					
		0	10	20	30	45	90
Orientation	Sud-Est	100%	97%	93%	87%	76%	41%
	Est	100%	98%	95%	90%	81%	49%
	Nord-Est	100%	99%	96%	93%	83%	47%
	Nord	100%	100%	98%	94%	85%	42%
	Nord-Ouest	100%	99%	96%	93%	83%	47%
	Ouest	100%	98%	95%	90%	81%	49%
	Sud-Ouest	100%	97%	93%	87%	76%	41%
	Sud	100%	96%	91%	85%	73%	35%

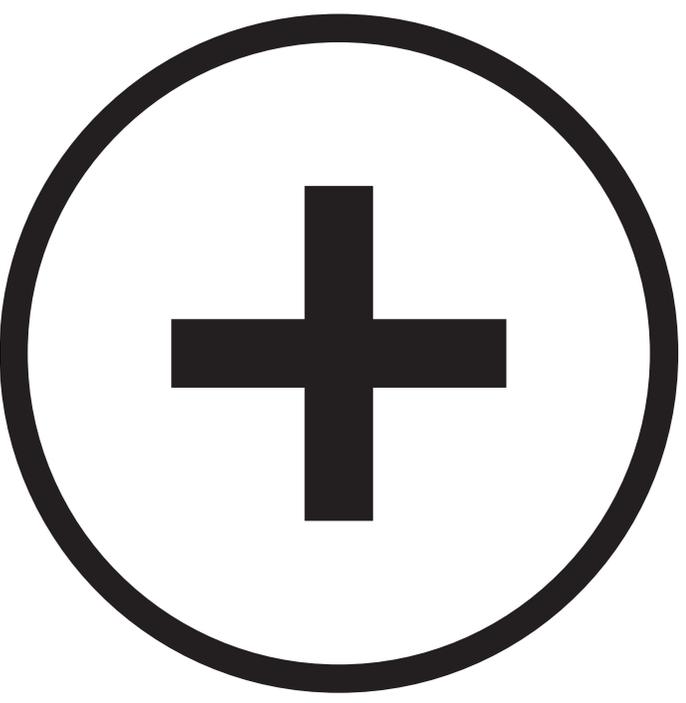
Orientation	Latitude -4°	Inclinaison [°]					
		0	10	20	30	45	90
Sud-Est		98%	97%	94%	89%	79%	45%
Est		98%	98%	94%	91%	82%	51%
Nord-Est		98%	99%	96%	92%	83%	50%
Nord		98%	100%	96%	95%	84%	49%
Nord-Ouest		98%	99%	96%	92%	83%	50%
Ouest		98%	98%	94%	91%	82%	51%
Sud-Ouest		98%	97%	94%	89%	79%	45%
Sud		98%	97%	94%	87%	76%	42%

Suivi et maintenance des installations photovoltaïques

Si une installation photovoltaïque est installée, il est **primordial de veiller à son suivi sur plusieurs années** :

- Suivi des installations sur plusieurs années ;
- Mise en œuvre de compteurs d'énergie produite ;
- Veiller au bon fonctionnement des onduleurs et des batteries ; et
- Prévoir un budget pour leur remplacement (durée de vie env. 10 ans pour les onduleurs et 5 à 10 ans pour les batteries).

Exemples/annexes



6

Exemples

BATIMENT ENERPOS A LA REUNION

Principes bioclimatiques

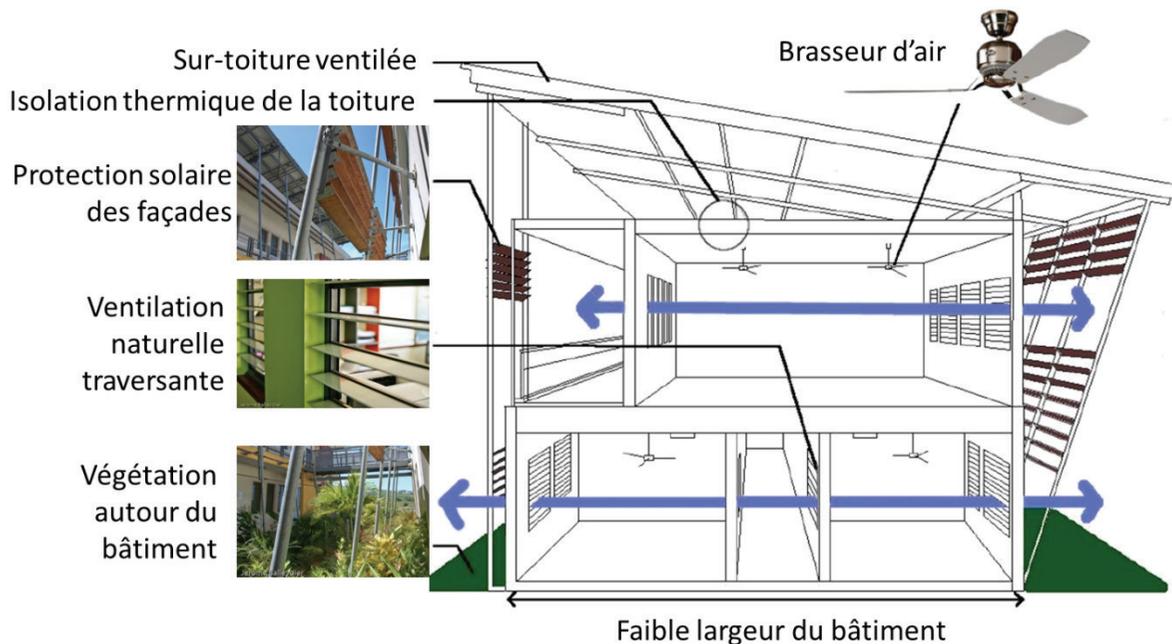
ENERPOS est un bâtiment à énergie positive conçu pour limiter au maximum les consommations électriques en appliquant les principes du bioclimatisme détaillés dans ce guide.

Les solutions techniques utilisées pour rendre ce bâtiment confortable sont les suivantes :

- **L'orientation nord-sud** des façades du bâtiment a été choisie pour se protéger des vents dominants (alizés) qui soufflent en hiver austral, tout en utilisant les brises thermiques perpendiculaires à la côte qui permettent de ventiler naturellement les espaces intérieurs en été ;
- Les façades sont largement végétalisées avec une canopée constituée d'espèces végétales endémiques variées et de plusieurs hauteurs, créant un îlot de fraîcheur aux abords du bâtiment ;
- L'ensemble des locaux sont traversant pour permettre d'évacuer les charges thermiques intérieures. La faible largeur des trames du bâtiment (7 m) permet d'avoir des ouvertures extérieures sur les deux façades opposées pour les salles de cours. Dans la zone administration du rez-de-chaussée, des jalousies intérieures entre les bureaux et le couloir permettent de conserver une ventilation traversante de l'ensemble des bureaux ;
- Le bâtiment est protégé des apports solaires grâce à une sur-toiture ventilée doublée d'un isolant thermique sur la toiture terrasse. Les façades principales sont protégées par des brise-soleil qui ont été dimensionnés sur un outil de modélisation 3D (SketchUp). Ceux-ci sont déportés de la façade afin de ne pas créer un échauffement de l'air devant les fenêtres. Cette mise à distance ménage un éclairage naturel confortable des locaux. La plupart des salles de cours ne nécessitent pas d'éclairage artificiel pendant les horaires d'occupation (8h-17h) ;
- Des brasseurs d'air plafonniers performants ont été installés dans l'ensemble des locaux (environ 1 brasseur d'air pour 10 m²) afin d'obtenir la vitesse d'air de 1 m/s qui permet aux occupants de se trouver en situation de confort à des températures de l'ordre de 30°C ;
- La production d'électricité est assurée par la sur-toiture constituée de plus de 300 m² de panneaux photovoltaïques.

Après 10 années d'utilisation, ce bâtiment continue d'être une référence de bâtiment bioclimatique en climat tropical. Des questionnaires de confort auprès des étudiants et enseignants utilisateurs du bâtiment montrent que ceux-ci sont globalement satisfaits des conditions de confort au sein du bâtiment, même si la ventilation naturelle nécessite d'être vigilant sur le niveau sonore des conversations pendant les pauses entre les cours.

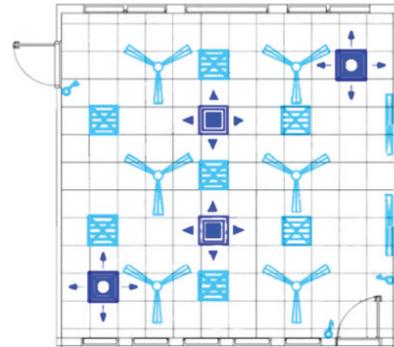
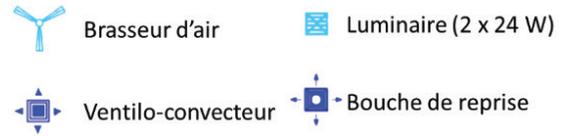
L'analyse des consommations électriques du bâtiment montre que celui-ci consomme environ 5 fois moins que les autres bâtiments universitaires à La Réunion (de l'ordre de 20 kWh/m².an). Par ailleurs, sa toiture photovoltaïque permet de produire environ 7 fois sa propre consommation électrique, ce qui le rend largement à énergie positive.



Brasseurs d'air performants dans les salles de cours et bureaux



Salle de cours traversante



Calepinage d'une salle informatique climatisée et équipée de brasseurs d'air en évitant l'effet stroboscopique



Patio végétalisé à l'intérieur du bâtiment et façade végétalisée

Eléments de coûts et de temps de retour sur investissement

	ENERPOS	Bâtiment universitaire standard	Différence de coût
Coût d'investissement	1 650 € / m ²	1 500 € / m ²	+ 150 € / m ²
Consommation électrique <i>0,1 € / kWh</i>	20 kWh/m ² .an	100 kWh/m ² .an	- 80 kWh/m ² .an - 8 €/m ² .an
Souscription de puissance <i>80 €/kW.an</i>	3 W/m ²	30 W/m ²	27 W/m ² - 2 €/m ² .an
Maintenance des climatiseurs	2 €/m ² .an	6 €/m ² .an	- 4 €/m ² .an
Total des coûts d'exploitation			- 14 €/m ² .an
Location de la toiture photovoltaïque	1 300 € / an (pendant 15 ans)		+ 2 €/m ² .an
Temps de retour sur investissement			9 ans

PROPOSITION D'AMELIORATIONS THERMIQUES D'UN BATIMENT AUX COMORES

Présentation du bâtiment

Le bâtiment étudié dans cet exemple est un bâtiment universitaire de la faculté des sciences de l'Université de Moroni, Comores. Il est constitué de salles de cours, d'une bibliothèque et de quelques salles de travaux pratiques. Il comporte 3 niveaux pour une surface de l'ordre de 1 600 m².

L'enveloppe du bâtiment est composée :

- D'une toiture en béton de couleur sombre non isolée
- De façades en béton, non protégées à l'est et au sud ; protégées par des coursives couvertes au nord et à l'ouest ;
- Les salles de cours sont traversantes ce qui permet de les ventiler raisonnablement ;
- Les menuiseries situées sur les façades est et sud sont de type coulissantes ce qui divise par deux le flux d'air. Elles ne permettent pas de réguler le flux d'air comme c'est le cas avec des menuiseries de type jalousies ou nacos.

Le bâtiment n'est actuellement pas climatisé mais les conditions intérieures y sont très inconfortables pendant la journée. Des mesures réalisées au mois de février montrent que la température intérieure peut atteindre 32 à 36°C pendant la journée. Il est envisagé la mise en œuvre de climatiseurs dans les salles de cours et de travaux pratiques. Des améliorations thermiques sont proposées pour réduire l'inconfort des professeurs et étudiants dans les salles de cours et éviter la mise en œuvre de climatiseurs.



Un grand manguier crée de l'ombre aux abords du bâtiment. Les étudiants se retrouvent sous le manguier car la température y est plus agréable que dans les salles de cours.



Toiture en béton de couleur sombre non isolée



Façade est non protégée



Façades ouest et nord protégées par des coursives couvertes



Coursives



Menuiseries de type coulissantes



Protections solaires de fortune mises en œuvre par les étudiants pour se protéger du rayonnement solaire

Améliorations thermiques proposées

Les principaux points à améliorer pour diminuer l'inconfort au sein des salles de cours sont les suivants :

- **Mise en œuvre d'une sur-toiture ventilée** au-dessus de la toiture terrasse de couleur noire. Actuellement, la toiture accumule de la chaleur tout le long de la journée et rayonne à l'intérieur des salles de cours, ce qui crée un inconfort important pour la salle de cours A302 et la bibliothèque

La sur-toiture ventilée peut être réalisée en paille de coco tressée. Pour être efficace, elle doit être déportée de la toiture terrasse d'une distance de 1,5 m afin de permettre une bonne circulation de l'air entre la toiture et la sur-toiture.



Toiture terrasse de couleur noire non isolée

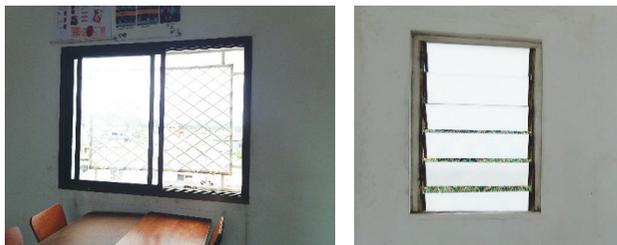


Mise en œuvre d'une sur-toiture ventilée – celle-ci peut être réalisée en paille de coco tressée

Il est également possible d'envisager l'isolation thermique de la toiture (par l'extérieur sous l'étanchéité ou à l'intérieur, au-dessus du faux-plafond) avec une épaisseur d'environ 12 cm d'isolant mais cette solution est coûteuse. Les produits d'isolation sont peu disponibles aux Comores et il a été préféré la mise en œuvre de produits biosourcés locaux.

- **Remplacement des baies coulissantes des façades est et sud par des nacos opaques (de couleur claire).** Actuellement, les baies des façades est et sud sont des coulissants en vitrage clair. Ce type de menuiserie est très défavorable pour la ventilation naturelle des locaux. De plus, les vitrages clairs non protégés sont une source d'inconfort à cause du rayonnement solaire direct sur les étudiants, qui essaient de limiter celui-ci en mettant des rideaux ou draps sur les fenêtres.

L'avantage des nacos est que leur taux d'ouverture est de 100%, la ventilation naturelle pourra donc être doublée par rapport à l'état actuel. De plus les lames opaques serviront de brises soleil lorsque les nacos seront ouverts.



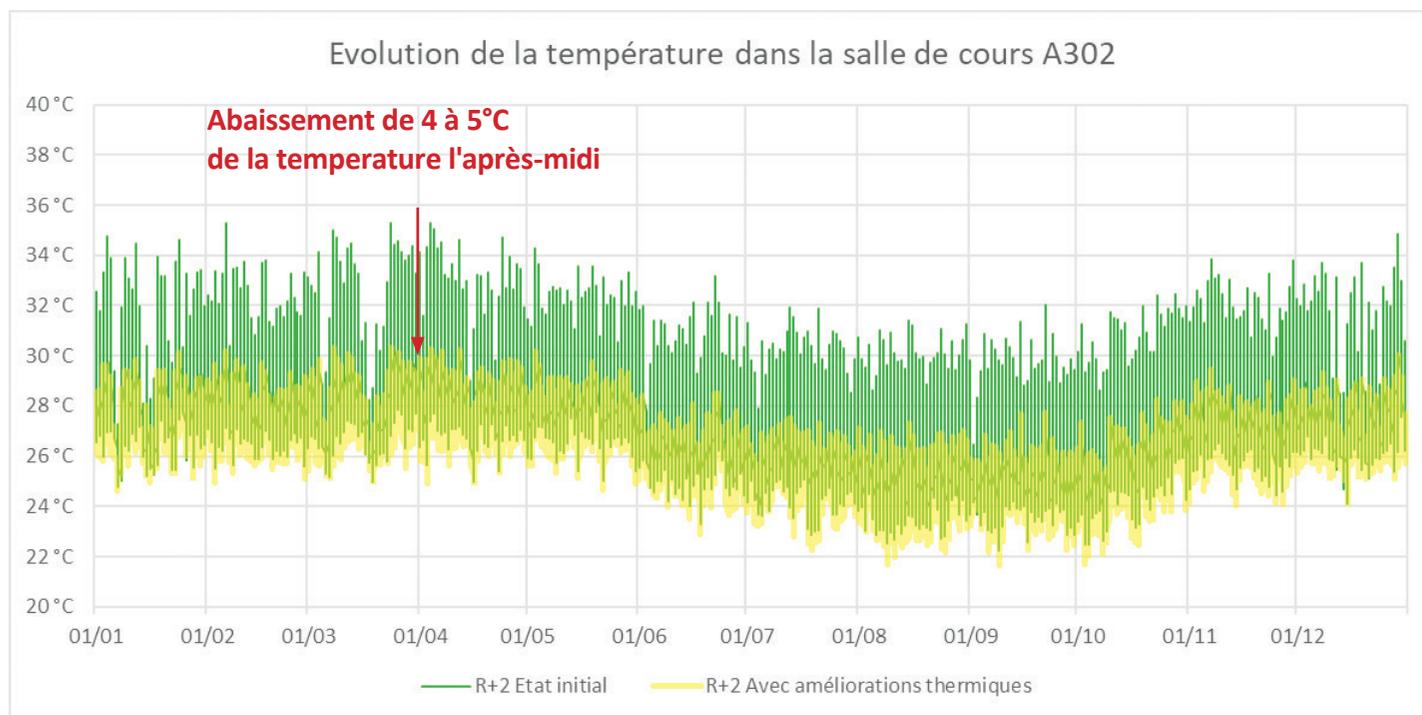
Remplacement des menuiseries coulissantes par des nacos opaques pour augmenter le taux d'ouverture des menuiseries tout en protégeant contre le rayonnement solaire direct.

- **Mise en œuvre de brasseurs d'air plafonniers pour augmenter la vitesse d'air et diminuer la température ressentie par les occupants.** Actuellement, seules certaines salles sont équipées d'un ventilateur mural. Ceux-ci sont de taille trop faibles et ne sont efficaces que pour les quelques personnes situées devant le ventilateur.

L'avantage des brasseurs d'air plafonniers est qu'ils peuvent couvrir l'ensemble de la surface d'une salle de cours (un brasseur d'air pour 10 à 15 m²).

Simulations thermiques dynamiques

Des simulations thermiques dynamiques permettent de comparer la température et les niveaux de confort dans la salle de cours A302 (R+2) dans l'état initial et avec les améliorations thermiques proposées.

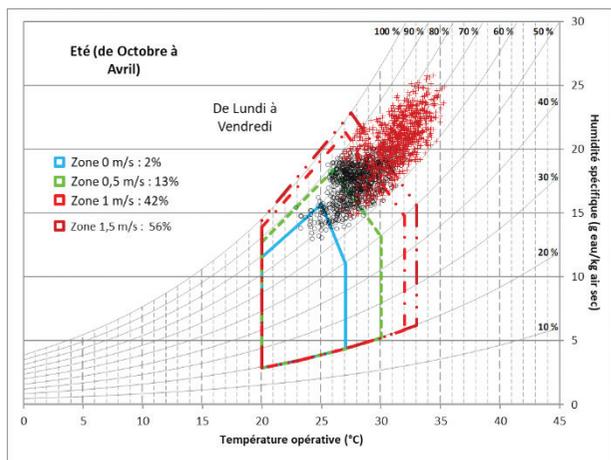


Evolution de la température dans la salle de cours A302 dans l'état initial et avec les améliorations thermiques proposées.

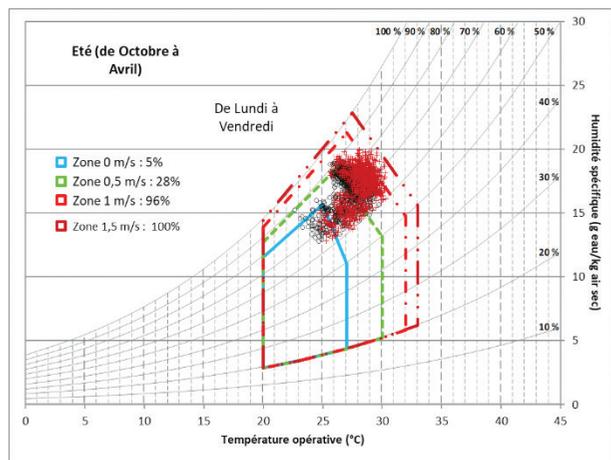
Dans l'état initial, on note que la **température intérieure en été atteint généralement 34 à 36°C** pendant la journée. En hiver, elle atteint 30°C au plus chaud de la journée. Ces conditions sont très inconfortables pour les étudiants et les professeurs. En réalisant les améliorations thermiques évoquées précédemment, on note que la température intérieure diminue de 34 à 30°C pendant les journées d'été.

Les diagrammes de confort de Givoni permettent d'évaluer le taux d'inconfort sur l'année en traçant les points correspondants aux températures et humidité sur le diagramme de l'air humide. Les zones de confort de Givoni indiquent les conditions confortables en fonction de la vitesse d'air disponible.

Dans l'état initial, avec une ventilation de 0,5 m/s (ventilation naturelle faible), seuls 13% des points se trouvent dans la zone de confort verte. Après amélioration de la performance thermique du bâtiment et mise en œuvre de brasseurs d'air, on note que des conditions confortables sont atteintes 100% du temps (zone de confort rouge foncée).



Etat initial : **56% de confort**



Etat final après travaux d'améliorations thermiques : **100% de confort**

Les simulations thermiques dynamiques montrent que la réalisation des améliorations thermiques proposées sur le bâtiment ainsi que la pose de brasseurs d'air permettent d'atteindre des conditions de confort tout à fait acceptables tout le long de l'année.

Toutefois, si la climatisation venait à être installée, les coûts liés à sa consommation électrique ont été estimés (dans l'état initial et après améliorations thermiques).

	Etat initial	Après améliorations du bâti et mise en œuvre de brasseurs d'air
Consommation annuelle climatisation	80 MWh/an	25 MWh/an
Facture annuelle climatisation	12 k€	4 k€

Si le bâtiment est laissé dans son état initial, le coût annuel de la climatisation est de l'ordre de 12 k€. Avec les améliorations thermiques proposées et la mise en œuvre de brasseurs d'air, le coût de la consommation de climatisation est de l'ordre de 4 k€.

ANNEXES

FACTEUR SOLAIRE

Définition du facteur solaire des parois opaques

Le facteur solaire mesure la transmission d'énergie solaire à travers une paroi opaque ou vitrée. Il correspond au ratio entre l'énergie qui traverse la paroi et l'énergie solaire incidente. Il est sans dimension. Plus le facteur solaire est faible, meilleure est la protection.

Pour une paroi opaque, le facteur solaire dépend de la résistance thermique de la paroi, de l'absorption de la paroi liée à sa couleur extérieure ainsi que du coefficient d'ombrage lié au pare-soleil. Il se calcule par la formule suivante :

$$S = \frac{0,074 \times C_m \times \alpha}{R_{th} + 0,2}$$

R_{th} Résistance thermique de la paroi ($m^2.K/W$) : capacité du matériau à résister au flux de chaleur

α Coefficient d'absorption de la paroi : dépend de la couleur extérieure de la paroi

C_m Coefficient d'ombrage dû au pare-soleil : coefficient de réduction qui dépend de l'orientation, de la position et de la taille du pare-soleil



RECOMMANDATION :

- Pour les toitures, le facteur solaire devra être inférieur à 3% ; et
- Pour les murs, le facteur solaire devra être inférieur à 9%.

Définition du facteur solaire des parois opaques

Pour une paroi vitrée, le facteur solaire dépend de la transmissivité du vitrage ainsi que du coefficient d'ombrage lié au pare-soleil. Il se calcule par la formule suivante :

$$S = S_0 \times C_m$$

S_0 Facteur solaire (transmissivité) du vitrage

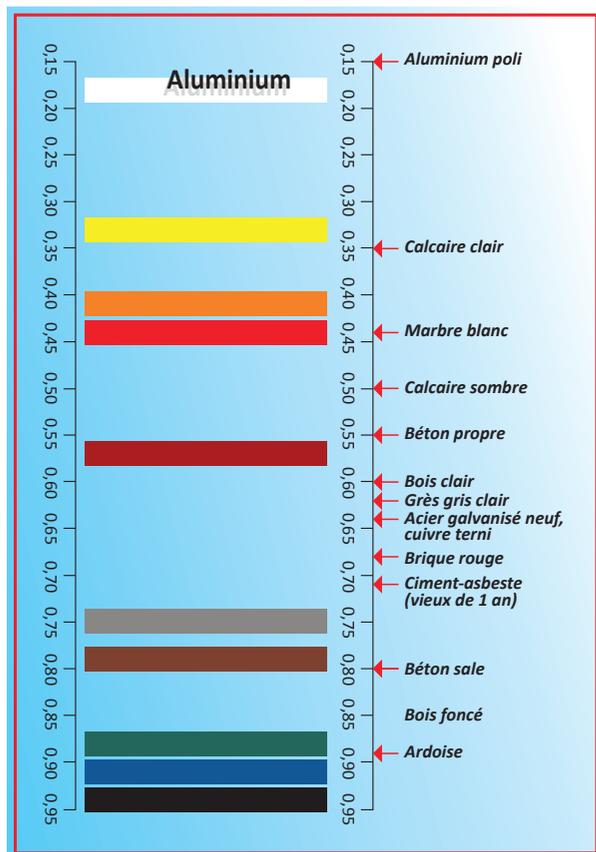
C_m Coefficient d'ombrage dû au pare-soleil : coefficient de réduction qui dépend de l'orientation, de la position et de la taille du pare-soleil



RECOMMANDATION :

- Pour les baies, le facteur solaire devra être inférieur à 60%.

Coefficient d'absorption d'une paroi α



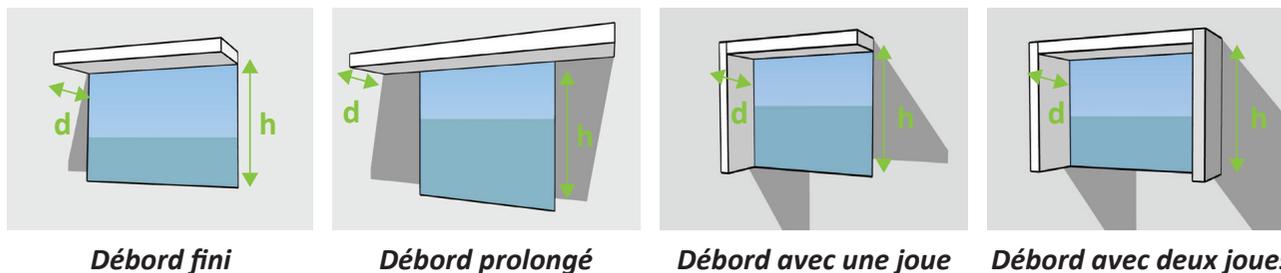
Source: De Herde, André; Liébard, Alain.
 Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques:
 concevoir, éditer et aménager avec le développement
 durable.

(2005) (ISBN: 2281192903)

Coefficient d'ombrage C_m

Pas de protection	$C_m = 1$
Sur-toiture ventilée Pare-soleil vertical ventilé : brise soleil en double peau	$C_m = 0,3$

Type de débord



Valeur de Cm pour Maurice

Maurice	d/h	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Orientation	Type de protection								
Nord	Débord fini	0,88	0,79	0,72	0,67	0,63	0,61	0,59	0,58
	Débord 0,5h	0,86	0,74	0,64	0,57	0,52	0,48	0,45	0,43
	Débord 2h	0,85	0,72	0,61	0,53	0,46	0,42	0,37	0,35
	Débord avec une joue	0,84	0,73	0,64	0,58	0,54	0,51	0,49	0,47
	Débord avec deux joues	0,8	0,66	0,56	0,49	0,45	0,41	0,38	0,36
Sud	Débord fini	0,93	0,89	0,86	0,83	0,81	0,79	0,77	0,74
	Débord 0,5h	0,9	0,83	0,79	0,75	0,72	0,7	0,66	0,64
	Débord 2h	0,88	0,8	0,73	0,68	0,64	0,61	0,56	0,53
	Débord avec une joue	0,88	0,8	0,75	0,71	0,68	0,65	0,61	0,59
	Débord avec deux joues	0,84	0,74	0,67	0,61	0,57	0,54	0,5	0,47
Est	Débord fini	0,92	0,85	0,79	0,74	0,69	0,66	0,6	0,57
	Débord 0,5h	0,91	0,83	0,75	0,69	0,64	0,59	0,53	0,48
	Débord 2h	0,9	0,81	0,73	0,66	0,6	0,55	0,48	0,43
	Débord avec une joue	0,9	0,81	0,73	0,68	0,62	0,58	0,52	0,48
	Débord avec deux joues	0,88	0,77	0,68	0,62	0,56	0,51	0,45	0,4
Ouest	Débord fini	0,93	0,86	0,8	0,75	0,71	0,68	0,63	0,59
	Débord 0,5h	0,92	0,84	0,77	0,71	0,66	0,62	0,56	0,51
	Débord 2h	0,91	0,82	0,74	0,68	0,63	0,58	0,51	0,46
	Débord avec une joue	0,91	0,82	0,75	0,69	0,64	0,6	0,55	0,5
	Débord avec deux joues	0,89	0,78	0,7	0,64	0,58	0,54	0,47	0,42

Valeur de Cm pour les Comores

Comores	d/h	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Orientation	Type de protection								
Nord	Débord fini	0,87	0,78	0,72	0,68	0,66	0,65	0,63	0,62
	Débord 0,5h	0,85	0,73	0,63	0,57	0,54	0,52	0,49	0,48
	Débord 2h	0,84	0,7	0,59	0,51	0,47	0,44	0,4	0,38
	Débord avec une joue	0,82	0,7	0,62	0,57	0,55	0,53	0,5	0,48
	Débord avec deux joues	0,78	0,64	0,55	0,49	0,46	0,44	0,41	0,39
Sud	Débord fini	0,9	0,83	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69
	Débord 0,5h	0,87	0,77	0,71	0,67	0,64	0,62	0,58	0,56
	Débord 2h	0,86	0,74	0,66	0,61	0,56	0,53	0,48	0,45
	Débord avec une joue	0,86	0,77	0,71	0,67	0,64	0,62	0,59	0,56
	Débord avec deux joues	0,81	0,68	0,61	0,56	0,52	0,5	0,46	0,43
Est	Débord fini	0,93	0,87	0,81	0,77	0,72	0,69	0,64	0,6
	Débord 0,5h	0,92	0,84	0,78	0,72	0,67	0,63	0,56	0,51
	Débord 2h	0,91	0,83	0,75	0,69	0,64	0,59	0,52	0,46
	Débord avec une joue	0,91	0,83	0,75	0,7	0,65	0,61	0,55	0,5
	Débord avec deux joues	0,89	0,79	0,71	0,65	0,59	0,55	0,48	0,43
Ouest	Débord fini	0,94	0,87	0,82	0,78	0,74	0,71	0,67	0,64
	Débord 0,5h	0,92	0,85	0,78	0,73	0,68	0,64	0,59	0,54
	Débord 2h	0,91	0,82	0,75	0,69	0,63	0,59	0,53	0,48
	Débord avec une joue	0,91	0,83	0,76	0,71	0,66	0,63	0,58	0,54
	Débord avec deux joues	0,89	0,79	0,7	0,64	0,59	0,55	0,49	0,44

Valeur de Cm pour les Seychelles

Seychelles	d/h	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Orientation	Type de protection								
Nord	Débord fini	0,92	0,86	0,81	0,78	0,76	0,74	0,71	0,69
	Débord 0,5h	0,89	0,8	0,74	0,7	0,66	0,64	0,6	0,57
	Débord 2h	0,88	0,77	0,69	0,64	0,59	0,56	0,51	0,47
	Débord avec une joue	0,88	0,79	0,73	0,69	0,66	0,63	0,59	0,56
	Débord avec deux joues	0,84	0,74	0,66	0,61	0,57	0,53	0,49	0,46
Sud	Débord fini	0,92	0,85	0,81	0,77	0,75	0,73	0,7	0,68
	Débord 0,5h	0,9	0,81	0,74	0,69	0,65	0,62	0,58	0,55
	Débord 2h	0,88	0,78	0,69	0,63	0,58	0,55	0,49	0,45
	Débord avec une joue	0,88	0,79	0,72	0,67	0,64	0,61	0,58	0,55
	Débord avec deux joues	0,84	0,72	0,64	0,58	0,54	0,51	0,46	0,44
Est	Débord fini	0,94	0,88	0,84	0,8	0,76	0,73	0,69	0,66
	Débord 0,5h	0,92	0,85	0,79	0,74	0,69	0,66	0,6	0,56
	Débord 2h	0,91	0,83	0,75	0,69	0,64	0,6	0,53	0,48
	Débord avec une joue	0,91	0,84	0,77	0,72	0,67	0,64	0,58	0,55
	Débord avec deux joues	0,89	0,79	0,72	0,65	0,6	0,56	0,5	0,46
Ouest	Débord fini	0,94	0,89	0,84	0,8	0,76	0,73	0,69	0,66
	Débord 0,5h	0,92	0,85	0,79	0,74	0,69	0,66	0,6	0,56
	Débord 2h	0,91	0,83	0,75	0,69	0,64	0,6	0,53	0,48
	Débord avec une joue	0,92	0,92	0,78	0,73	0,68	0,65	0,6	0,56
	Débord avec deux joues	0,89	0,79	0,72	0,65	0,6	0,56	0,5	0,46

Valeur de Cm pour le sud de Madagascar (latitude < - 22°S)

Madagascar (sud)	d/h	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Orientation	Type de protection								
Nord	Débord fini	0,88	0,79	0,72	0,66	0,63	0,6	0,58	0,57
	Débord 0,5h	0,86	0,74	0,64	0,57	0,51	0,47	0,43	0,42
	Débord 2h	0,85	0,72	0,62	0,53	0,46	0,41	0,36	0,33
	Débord avec une joue	0,84	0,73	0,64	0,58	0,54	0,51	0,48	0,46
	Débord avec deux joues	0,8	0,66	0,56	0,49	0,44	0,41	0,37	0,35
Sud	Débord fini	0,94	0,9	0,87	0,84	0,82	0,8	0,78	0,76
	Débord 0,5h	0,91	0,85	0,8	0,76	0,73	0,71	0,67	0,65
	Débord 2h	0,9	0,81	0,75	0,7	0,66	0,62	0,57	0,54
	Débord avec une joue	0,89	0,82	0,76	0,72	0,69	0,66	0,62	0,6
	Débord avec deux joues	0,85	0,75	0,68	0,63	0,59	0,55	0,51	0,48
Est	Débord fini	0,92	0,85	0,79	0,74	0,69	0,66	0,61	0,57
	Débord 0,5h	0,91	0,83	0,75	0,69	0,64	0,59	0,53	0,48
	Débord 2h	0,9	0,81	0,73	0,66	0,6	0,55	0,48	0,43
	Débord avec une joue	0,9	0,81	0,74	0,68	0,62	0,58	0,52	0,48
	Débord avec deux joues	0,88	0,77	0,69	0,62	0,56	0,51	0,45	0,4
Ouest	Débord fini	0,93	0,86	0,8	0,76	0,71	0,68	0,63	0,59
	Débord 0,5h	0,92	0,84	0,77	0,71	0,66	0,62	0,56	0,51
	Débord 2h	0,91	0,82	0,74	0,68	0,63	0,58	0,51	0,46
	Débord avec une joue	0,91	0,82	0,75	0,69	0,64	0,6	0,55	0,5
	Débord avec deux joues	0,89	0,78	0,7	0,64	0,58	0,54	0,47	0,43



Blue Tower, 4ème étage
Rue de l'Institut
Ebène, Maurice
Tel : (+230) 402 61 00
Fax : (+230) 466 01 60
www.commissionoceanindien.org